

---

# Gestió aeronàutica en condicions meteorològiques adverses

---

**Treball de Fi de Màster en Gestió Aeronàutica**

*Autor del treball:*  
**Ignasi Porras Alegre**

*Director del treball:*  
Romualdo Moreno Ortiz

18 d'octubre de 2015



El/La abajo firmante, Romualdo Moreno Ortiz

Profesor/a de los estudios de Máster Universitario en Gestión  
Aeronáutica de la UAB,

**CERTIFICA:**

Que el trabajo al que corresponde la presente memoria ha sido  
realizado bajo su dirección por

**Ignasi Porras Alegre**

Y para que conste firma la presente.



Firmado: .....

Sabadell, 16 de octubre de 2015



# Índex

<b>1</b>	<b>Introducció</b>	<b>10</b>
1.1	Objectiu	10
1.2	Estructura del treball	10
1.3	Revisió de fonts d'informació disponible	11
1.4	Informes d'accidents i incidents	11
1.5	Productes meteorològics (MET)	12
1.6	Eines de suport per a la presa de decisions	13
<b>2</b>	<b>Meteorologia i seguretat aèria: Anàlisi extern i intern</b>	<b>14</b>
2.1	Context internacional	15
2.1.1	Antecedents	15
2.1.2	Organismes internacionals reguladors: International Civil Aviation Organization (ICAO), Organització Meteorològica Mundial (OMM), European Community (CE)	15
2.1.3	Altres organismes internacionals	17
2.1.4	Prestació dels serveis meteorològics aeronàutics	18
2.2	Context nacional	19
2.3	Marc regulador	20
<b>3</b>	<b>Fenòmens meteorològics que afecten a l'aviació</b>	<b>21</b>
3.1	Icing (ICE)	21
3.1.1	Efecte de l'acumulació de gel en les aeronaus	22
3.2	Visibilitat (VIS)	23
3.2.1	Visibilitat horitzontal	24
3.2.2	Visibilitat vertical	25
3.2.3	Visibilitat obliqua	26
3.2.4	Condicions meteorològiques que redueixen la visibilitat i comportament de l'aeronau	27
3.3	Turbulències	29

3.3.1	Turbulència tèrmica o convectiva . . . . .	30
3.3.2	Turbulència de l'aire clar (CAT) . . . . .	30
3.3.3	Ona de muntanya i ona gravitatòria . . . . .	31
3.3.4	Efecte de les turbulències sobre les aeronaus . . . . .	31
<b>4</b>	<b>Gestió de les etapes d'un vol en condicions meteorològiques adverses</b>	<b>33</b>
4.1	Influència de la meteorologia en les diferents fases d'un vol . . . . .	33
4.1.1	Visibilitat . . . . .	33
4.1.2	Turbulències . . . . .	33
4.1.3	Pluja, neu i tempestes . . . . .	34
4.1.4	Boira . . . . .	34
4.1.5	Icing . . . . .	34
4.2	Influència de la meteorologia en la fase de creuer . . . . .	35
<b>5</b>	<b>Cas d'estudi: 07/10/1025</b>	<b>36</b>
5.1	Simulació del model numèric WRF-ARW . . . . .	36
5.2	Pronòstic meteorològic i gestió en aproximació final a l'aeroport de Barcelona . . . . .	36
<b>6</b>	<b>Conclusions</b>	<b>40</b>
<b>A</b>	<b>Productes MET d'acord l'Annex 3 d'ICAO</b>	<b>43</b>
<b>B</b>	<b>Predicció meteorològica del model Weather Research and Forecast model (WRF) i observació del radar meteorològic en aproximació final a l'aeroport de Barcelona pel 07/10/2015</b>	<b>64</b>
B.1	Imatge de precipitació acumulada detectada pel radar meteorològic pel 07-10-2015 . . .	64
B.2	Simulació meteorològica del WRF-ARW pel 07-10-2015 . . . . .	66
B.2.1	Precipitació acumulada horaria . . . . .	66
B.2.2	Temperatura / Vent superfície . . . . .	68
B.2.3	Índex CAPE/LI . . . . .	70

## Índex de figures

1	Espai Aeri Europeu – Functional Airspace Block. . . . .	17
2	Efecte del gel en l'aeronau. (Font: LAKP-Yukon, NWT, Nunavut) . . . . .	22
3	Perfils de les ales contaminats per gel granulat i gel clar. . . . .	23
4	Il·lusió òptica deguda a la inclinació del terreny en les proximitats de la pista. . . . .	26
5	Sección vertical del jet stream. . . . .	30
6	Ona de muntanya. . . . .	31
7	Pronòstic de la temperatura, vent i precipitació per les 14 UTC del 07/10/2015. . . . .	37
8	Precipitació acumulada detectada pel radar meteorològic per les 14 UTC del 07/10/2015. . . . .	37
9	Pronòstic de la precipitació per les 19 UTC (esq.) i 20 UTC (dta.) del 07/10/2015. . . . .	38
10	Pronòstic del vent i temperatura per les 19 UTC (esq.) i 20 UTC (dta.) del 07/10/2015. . . . .	38
11	Precipitació acumulada detectada pel radar meteorològic per les 19 UTC del 07/10/2015. . . . .	39
12	Imatges de l'aproximació final a l'aeroport de Barcelona per les 18 UTC (esq.) i 19 UTC (dta.) del 7/10/2015. (Font: <a href="http://www.flightradar24.com">http://www.flightradar24.com</a> ) . . . . .	39

## Índex de taules

1	Causes d'accidents en aeronàutica (% per dècada).[13] . . . . .	14
2	Categoria de ILS necessària a pista en funció del RVR. . . . .	24
3	Reducció de la visibilitat (en km) en condicions de pluja (segons intensitat). . . . .	27
4	Reducció de la visibilitat (en km) en condicions de plugims (segons intensitat). . . . .	27
5	Reducció de la visibilitat (en km) en condicions de nevada (segons intensitat). . . . .	28
6	Reducció de la visibilidad ver la intensidad de la DS. . . . .	29
7	Reducció de la visibilidad (en km) en l'interior de boires i boirines. . . . .	29



## Acronyms

- AEMET** Agència Estatal de Meteorologia. 17
- AFIS** Aerodrome Flight Information Service. 17
- AIRMET** Airmen's Meteorological Information. 11
- ASECNA** Organisme per a la Seguretat de la Navegació Aèria a l'Àfrica i Madagascar. 15
- ATC** Air Traffic Control. 8, 10, 11
- ATM** Air Traffic Management. 8, 11, 14, 17
- ATS** Air Traffic System. 10, 11
- CAT** Clear Air Turbulence. 27
- CE** European Community. 13
- CGA** Centre de Gestió Aeroportuària. 18
- DGLV/DGTA** Direcció General del Transport Aeri a Bèlgica. 16
- EASA** European Aviation Safety Agency. 15
- EU** Europe Union. 9
- EUMETNET** European National Meteorological Services. 14
- FAA** Federal Aviation Administration. 9, 11
- FAB** Functional Air Block. 14
- FAB B** Blocs Funcionals de l'Espai Aeri Europeu Bàltic. 14
- FAB NE** Blocs Funcionals de l'Espai Aeri Europeu NE. 14
- FAB SW** Blocs Funcionals de l'Espai Aeri Europeu SW. 14
- FAB UK-IR** Blocs Funcionals de l'Espai Aeri Europeu Regne Unit i Irlanda. 14
- FABCE** Blocs Funcionals de l'Espai Aeri Europeu Centre Est. 14
- FABEC** Blocs Funcionals de l'Espai Aeri Europeu Central. 14
- FIS** Flight Information Service. 17
- GAMET** Predicció meteorològica per una àrea. 10
- IAOPA** Consell Internacional d'Associacions de Propietaris i Pilots d'Aeronaus. 15
- IATA** Associació de Transport Aeri Internacional. 15
- ICAO** International Civil Aviation Organization. 9, 12, 13, 16, 17, 21, 37, 38

**ILS** Instrumental Landing System. 21

**IMC** Instrumetal Meteorological Conditions. 21

**IPCC** Grup Intergovernamental d'Experts sobre el Canvi Climàtic. 15

**JPDO** Oficina Conjunta de Planificació i Desenvolupament. 17

**METAR** METeorological Aerodrome Report. 10, 21

**MLS** Microwave Landing System. 21

**MTOW** Maximum Take-off Weight. 31

**NATS** National Air Traffic Services Limited. 16

**OMI** OMM Meterological Comission. 13

**OMM** Organització Meteorològica Mundial. 12, 13, 15–17, 37

**OPMET** Base de dades Meteorològiques Operatives. 17

**RVR** Runway Visual Range. 21

**RVV** Runway Visibility Value. 21

**SADIS** Sistema de distribució de dades satèl·lit per l'aviació. 16

**SES** Single European Sky. 14, 16

**SESAR** Single European Sky Air Traffic Management Research. 14, 15

**SIGMET** Significant Meteorological Information. 10

**SIGWX** Taula de predicció meteorològica significativa. 11

**SMC** Servei Meteorològic de Catalunya. 33

**SMN** National Meteorologic Service. 14, 16

**SPECI** Informe especial METAR. 10

**TAF** Predicció meteorològica de l'aeròdrom. 10, 37

**TREND** Predicció meteorològica per l'aterratge. 10

**VAAC** Centre d'Informació sobre Cendres Volcàniques. 16, 17

**WAFC** Centre Mundial de Pronòstic d'Àrea. 16

**WRF** Weather Research and Forecast model. 8, 33, 59, 69

# 1 Introducció

La gestió eficaç de l'impacte de condicions meteorològiques adverses en un sistema d'Air Traffic Management (ATM) és de gran importància per a la millora de la seguretat i l'eficiència de les operacions d'Air Traffic Control (ATC) en espais aeris amb molt volum de trànsit. Fenòmens meteorològics severos interrompen els fluxos de trànsit aeri i generen retards significatius. Si no es gestionen adequadament, els riscos en l'aviació associats a condicions meteorològiques adverses poden conduir a situacions de risc, alt nivell de càrrega de treball pels pilots i controladors així com causar pèrdues econòmiques a més d'ocasionar accidents.

Els serveis meteorològics en el camp de l'aviació tenen l'objectiu de contribuir a la seguretat i eficiència de la navegació aèria. Aquest servei proporciona:

- Als explotadors i als membres de les tripulacions de vol la informació necessària per la planificació prèvia del vol i la re-planificació durant el vol, per a l'ús de la tripulació abans de la sortida del vol i per a les aeronaus en vol.
- Als serveis de trànsit aeri i dependències dels serveis de cerca i salvament, la informació necessària pel correcte funcionament de les seves tasques.
- A les administracions dels aeroports, informació sobre les condicions meteorològiques existents o previstes necessàries pel funcionament de les seves instal·lacions, així com els avisos de les condicions meteorològiques que puguin tenir efectes adversos en les aeronaus en terra, instal·lacions i serveis.
- Les dades de les observacions meteorològiques i informació climatològica que precisen els usuaris interessats en el desenvolupament de la navegació aèria, així com per finalitats d'investigació d'accidents i per l'anàlisi operacional.

## 1.1 Objectiu

L'objectiu del treball és estudiar la situació dels serveis meteorològics en el món de l'aviació així com demostrar la importància d'aquests per a una gestió aeronàutica segura i eficient.

## 1.2 Estructura del treball

Aquest treball està estructurat en tres blocs principals. En primer lloc, es fa un anàlisi del servei meteorològic en el món de l'aviació. Aquest estudi es centre tan a nivell nacional com a nivell internacional. Es presenten quins són els organismes que regeixen aquest servei així com els productes que es faciliten als diferents usuaris finals per a una navegació eficient i segura. La segona part tracta dels fenòmens meteorològics que afecten a l'aviació. Es fa un repàs general de quines són les variables meteorològiques més determinants a l'hora de gestionar tot el que engloba una operació. Per finalitzar, s'ha analitzat un cas d'estudi referent al pronòstic meteorològic del dia 7 d'octubre de 2015 realitzat amb el model numèric de predicció del temps, WRF, per tal de demostrar de l'importància dels serveis meteorològics en el camp de l'aviació per tal de gestionar d'una manera eficaç i segura situacions meteorològiques adverses.

### 1.3 Revisió de fonts d'informació disponible

Per fer el següent treball s'ha fet un estudi bibliogràfic que es pot agrupar en varies categories:

- Material regulat: documents realitzats per organitzacions reguladores; en major part documents d'ICAO encara que també s'han tingut en compte documents realitzats tan per l'Europe Union (EU) com per la Federal Aviation Administration (FAA).
- Informes d'accidents i incidents - s'han analitzat informes elaborats per organismes oficials d'investigació d'accidents aeris com SKYbrary Accidents and Serious Incidents database.
- Estudis de recerca - material publicat per universitats o organitzacions científiques.
- Articles de revistes científiques - revistes especialitzades en el camp de la meteorologia i focalitzades en el món de l'aviació, com Meteorological Magazine.
- Pàgines d'internet - diferents informacions disponibles a internet.

### 1.4 Informes d'accidents i incidents

L'anàlisi dels accidents i incidents greus degut a la meteorologia estan inclosos en diferents estudis realitzats per l'ICAO. Aquest estudis mostren que els accidents i incidents més greus relacionats amb la meteorologia tenen lloc durant les fases d'aproximació i aterratge del vol. Els mateixos perills meteorològics es poden trobar durant les fases d'ascens i en ruta però, les conseqüències solen ser menys greus a causa de que es té més capacitat per poder combatre els efectes adversos.

Els accidents greus relacionats amb la meteorologia així com els diferents incidents greus, es poden atribuir als següents fenòmens meteorològics:

- Formació de gel en vol.
- Turbulència severa.
- Danys per calamarsa.
- Danys per llamps.
- Baixa visibilitat a causa de la boira o de la precipitació.
- Vent forts en superfície i cisalles de vent.

Les conseqüències del perill de la formació de gel en vol (creació tan de gel transparent com de gel transparent) inclouen però no es limiten a: dificultats de control a causa de la degradació de la *performance* de l'aeronau que, en última instància, podria resultar amb la pèrdua de control; visibilitat limitada; problemes de comunicació i bloqueig de pitot-tubs.

Les conseqüències del perill de turbulència severa inclouen però no es limiten a: canvis bruscos d'actitud i altitud amb grans variacions en la velocitat de l'aire; pèrdua temporal de control (pot haver períodes en els quals no és possible un control efectiu de l'aeronau); objectes sense assegurar es

poden moure per la cabina i causar lesions als passatgers, a la tripulació i danyar l'estructura de l'aeronau.

Les conseqüències del perill de calamarsa inclouen però no estan limitades a: danys considerables a les aeronaus que poden ser no evidents a primera instància per la tripulació incloent el trencament del parabrisa i finestres que poden reduir la visibilitat des de la cabina i, en última instància, poden conduir a la pèrdua de control de l'aeronau.

Les conseqüències del perill de llamps inclouen però no estan limitades a: danys en els avions/fuselatge; incapacitació de la tripulació a causa de la ceguesa del llamp; interferències i danys en l'aviònica i l'equip electrònic de l'aeronau.

Les conseqüències de la boira i el risc de baixa visibilitat inclouen però no es limiten a: alteració de la visibilitat des de la cabina que afecten les operacions d'enlairament i aterratge; *aquaplaning*; incursió a la pista i excursió; col·lisió amb un obstacle de la superfície.

Les conseqüències del perill de vents forts en superfície, aplicables a les fases de vol on l'aeronau està a baixa altura (aproximació, aterratge i ascens) poden ser particularment perilloses o conduir a la pèrdua de control de l'aeronau. Les conseqüències inclouen però no estan limitades a: *windshear* relacionada amb tempestes elèctriques i vents extrems que es produeixen per sota de la base del cumulonimbus i cúmuls que poden conduir a la pèrdua de control. [4]

## 1.5 Productes meteorològics (MET)

A l'Annex A - Productes MET d'acord amb l'Annex 3 de l'ICAO[5], es proporciona una visió general dels productes meteorològics específics diferents per a l'aviació utilitzats en les operacions d'aeronaus i d'Air Traffic System (ATS) per a l'anticipació dels riscos relacionats amb la meteorologia i la identificació de les estratègies i plans de reducció del risc. Cada producte es presenta en un format tabular amb referència als seus paràmetres significatius, entre ells: breu descripció, tipus de producte, la font de dades, període de validesa, freqüència d'actualització, l'ús per l'ATC i els pilots, probabilitat (només les previsions), etc.

L'Annex A del present informe inclou la presentació de la informació meteorològica disponible i que s'entrega als diferents sectors aeronàutics per a una gestió segura i eficient:

- METeorological Aerodrome Report (METAR)
- Informe especial METAR (SPECI)
- Informe local MET
- Informe especial MET
- Predicció meteorològica de l'aeròdrom (TAF)
- Predicció meteorològica per l'aterratge (TREND)
- Predicció meteorològica per a l'enlairament
- Predicció meteorològica per una àrea (GAMET)
- Significant Meteorological Information (SIGMET)

- Airmen's Meteorological Information (AIRMET)
- Advertència de l'aeròdrom
- Predicció meteorològica per capes altes de l'atmosfera
- Taula de predicció meteorològica significativa (SIGWX)
- Assessorament per cendra volcànica
- Assessorament per cicló tropical

No obstant això, és important tenir en compte que hi ha una gran diferència entre els productes definits per l'Annex 3 d'ICAO, l'ús previst i com aquesta informació/productes s'utilitzen a la pràctica. Per exemple, els METAR/SPECI, TAF, TREND i fins a cert punt els AIRMET/GAMET, s'especifiquen per complir amb els requisits per a la preparació del vol. Aquests no van estar dissenyats per ser utilitzats en un aeroport i/o entorn de la presa de decisions ATS.

## 1.6 Eines de suport per a la presa de decisions

Actualment està generalitzada l'acceptació de que els processos de pronòstic meteorològic per a situacions meteorològiques adverses es presenti amb certa incertesa. Aquesta informació se sol presentar expressada per un factor de probabilitat (el factor de probabilitat pot diferir depenent del tipus de variable meteorològica). En última instància, els models numèrics de pronòstic meteorològic acostumen a ser probabilístics, tenint en compte les incerteses, tan en els fenòmens meteorològics de gran escala (fenòmens d'escala sinòptica) com en els de petita escala (fenòmens d'escala regional i local).

Durant els últims anys s'ha fet un progrés significatiu en l'avaluació de l'impacte de la previsió meteorològica convectiva a la FAA amb col·laboració amb el departament d'ATM, sobretot dirigit a la investigació per a la integració dels models probabilístics d'alta resolució 4D. Aquests models tenen encara certes limitacions. La majoria dels models avaluats es desenvolupen i s'adapten pel Sistema d'Espai Aeri Nacional dels Estats Units. La majoria dels models, incloent els més nous, estan dissenyats per estimar l'impacte de fenòmens meteorològics convectius en els recursos ATM. No obstant això, hi ha una manca existent de models de predicció numèrica del temps per tal de proporcionar informació detallada de l'impacte meteorològic sobre medis oceànics, situacions de cendra volcànica, així com per a l'avaluació de l'impacte sobre les operacions de les aeronaus i d'ATM.

La majoria dels models d'avaluació d'impacte utilitzen com a entrada diverses prediccions meteorològiques. Aquests utilitzen mètodes d'informació per tal de traduir la previsió meteorològica reportada a informació útil per tal d'una bona gestió aeronàutica en termes de seguretat i eficiència. La sortida d'aquests models es fa servir per a la valuació de l'impacte operatiu així com pel suport a les decisions. Molts dels models d'avaluació d'impacte utilitzen una malla regular (per exemple, 4 km de resolució horitzontal) que cobreix l'àrea d'interès per tal d'estimar l'impacte del mal temps en les operacions previstes en l'espai aeri afectat. Aquest enfocament permet estimar la reducció de la capacitat de gestió pel sector d'ATC. Fins a data d'avui, aquestes eines de suport es troben en diferents nivells de maduresa - alguns estan en ús operatiu, mentre que altres es troben encara en fase d'investigació.

## 2 Meteorologia i seguretat aèria: Anàlisi extern i intern

Una de les tasques de l'ICAO és la de procurar que els Estats que la constitueixen millorin la seguretat aèria. Encara que gran part de la responsabilitat recau en l'indústria, les autoritats de l'Aviació Civil de cada Estat han d'establir un programa que garanteixi un nivell acceptable de seguretat per l'Aviació Civil (Conveni de Chicago, Annexos 1, 6, 11, 13 i 14). Per complir amb els requisits, cada Estat ha de realitzar una gestió coordinada i efectiva dels diferents organismes implicats en la seguretat aèria, gestió que també és crítica per l'economia.

Entre aquests organismes es troben els proveïdors oficials de Serveis Meteorològics per a la Navegació Aèria de cada Estat, anomenats Autoritats Meteorològiques Aeronàutiques que, dins del marc de l'OMM, subministren l'informació meteorològica necessària per a la seguretat i eficiència de l'Aviació Civil, segons estableix l'Annex 3 del Conveni de Chicago.

El ràpid avenç en la tecnologia pel que fa a la navegació aèria i construcció d'aeronaus permet que els avions de transport puguin operar pràcticament sota qualsevol tipus de condició meteorològica. No obstant, i per motius de seguretat, han d'evitar el vol en llocs amb condicions meteorològiques adverses. Així ho reflecteixen estadístiques que resulten dels anàlisi realitzats pel National Safety Board (Aviation Accident and Incident Database) i Plane Crash Information. La sinistralitat aeronàutica deguda a causes meteorològiques s'ha vist reduïda des del 30% a la dècada dels 90 fins al 24% durant el període comprés entre el 2003 i el 2007. Actualment, tal i com es mostra a la Taula 1, els accidents en l'aviació deguts a condicions meteorològiques adverses està al voltant del 18%. No obstant això i malgrat que aquest percentatge va disminuint any rere any, l'impacte de la meteorologia en les activitats aeronàutiques és encara massa elevat, tan des del punt de vista de la seguretat com de l'economia. Les pèrdues econòmiques degudes a retards en els vols, encara essent força inferiors que en el cas d'accidents, són elevats i, el 70% de les vegades es deuen a causes meteorològiques. [13]

Amb la finalitat de cobrir aquests objectius, expectatives i necessitats de la comunitat aeronàutica, l'informació meteorològica per a l'aviació ha de millorar dia rere dia en qualitat i disponibilitat. Per assolir aquestes fites, es necessita d'una dotació d'instruments de mesura tan en superfície com en altura, una continuada vigilància de l'atmosfera i una millora substancial en els mètodes numèrics de predicció meteorològica del temps pel sector aeronàutic, particularment en el pronòstic a curt termini. És així també fonamental el desenvolupament d'eines d'Internet que facilitin l'accés als usuaris aeronàutics a la informació meteorològica actualitzada i de qualitat.

Causa	1950	1960	1970	1980	1990	2000	Total
<b>Total Error pilot</b>	58	63	44	57	55	57	53
<b>Error pilot</b>	43	33	25	29	29	34	32
<b>Error pilot (causes meteo)</b>	9	18	14	16	21	18	16
<b>Error pilot (mecànica)</b>	7	4	5	2	5	5	5
<b>Altres errors humans</b>	2	8	9	5	8	6	6
<b>Meteo</b>	15	12	14	14	8	6	12
<b>Mecànica</b>	19	19	20	21	18	22	20
<b>Sabotatge</b>	4	11	12	10	9	8	
<b>Autres causes</b>	0	2	2	1	1	0	1

**Taula 1:** Causes d'accidents en aeronàutica (% per dècada).[13]

## 2.1 Context internacional

### 2.1.1 Antecedents

El coneixement tecnològic de l'aviació en el primer terç del segle XX va marcar el propi desenvolupament dels serveis meteorològics i va fer necessari adoptar mesures estàndards i regulacions internacionals. Des dels anys vint l'OMM Meteorological Commission (OMI) va adoptar un caràcter intergovernamental, malgrat que la mateixa OMI no la va tenir fins que va ser substituïda per l'OMM al 1951.

Qualsevol anàlisi o pla d'actuació en meteorologia aeronàutica ha de partir de dues premisses que emmarquen el seu desenvolupament en qualsevol país del món:

- L'aviació segueix tenint una important dependència del servei meteorològic.
- El servei meteorològic aeronàutic està regulat internacionalment de manera detallada, sens dubte, més que qualsevol altre tipus de servei meteorològic. Es basa en estàndards i procediments comuns molt elaborats, que s'acorden conjuntament pels organismes internacionals d'aviació i de meteorologia.

### 2.1.2 Organismes internacionals reguladors: ICAO, OMM, CE

Les normes internacionals pel servei meteorològic en l'aviació s'emeten per dos organismes internacionals que treballen amb una estreta coordinació:

- L'Organització d'Aviació Civil Internacional (ICAO), fundada al 1944.
- L'Organització Meteorològica Mundial (OMM), fundada al 1951, i dins d'ella la seva Comissió de Meteorologia Aeronàutica.

Donat que l'ICAO i l'OMM tenen interessos comuns en l'àmbit de la meteorologia aeronàutica, a l'any 1951 van arribar a un acord de treball (document ICAO 7475/2 Modus Vivendi OMM-ICAO) per garantir l'uniformitat dels procediments i delimitar les àrees de responsabilitat de cadascun d'ells. Així:

- L'ICAO és l'encarregada de definir les necessitats de l'aviació en el camp de la meteorologia i les relacions amb els altres serveis o operadors aeronàutics.
- L'OMM és responsable de tot el que està relacionat amb la meteorologia.

En concret, els Estats membres de l'ICAO, pràcticament tots els del món, estan obligats a seguir el que està estipulat en el Conveni i els Annexos que el desenvolupen. En ells s'assenyala:

- «Cada Estat signant s'obliga, en la mesura que sigui possible, a proporcionar en el seu territori... serveis meteorològics... per facilitar la navegació aèria internacional» (Art. 28, a del Conveni).



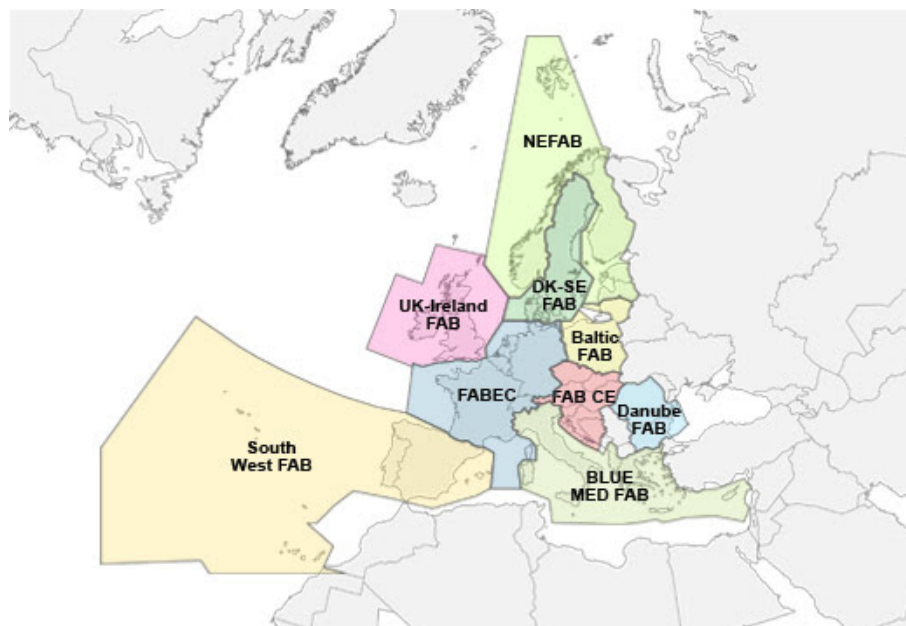
- «L'informació meteorològica i operativa habilitada per a la navegació i pels aeròdroms inclosos en el servei d'informació al vol ha de ser entregada, sempre que sigui possible, de manera operativa» (Art. 4.3.1.1 de l'Annex al Conveni).
- «Cada Estat signant determinarà el servei meteorològic que proporcionarà per satisfer les necessitats de la navegació aèria internacional... Cada Estat signant designarà l'autoritat, definida com autoritat meteorològica aeronàutica, que proporcionarà o organitzarà la provisió del servei meteorològic a la navegació aèria en nom propi» (Art. 2.1, apartats 3 i 4 de l'Annex 3).
- «Un Estat signant, que hagi acceptat la responsabilitat de proporcionar serveis al trànsit aeri en l'àmbit d'una regió d'informació al vol o en una àrea de control, haurà d'establir una o més oficines meteorològiques de vigilància o organitzar que un altre Estat signant o faci» (Art. 3,5 apartat 1 de l'Annex 3).
- «Cada Estat signant establirà en aeroports i altres punts significatius per a la navegació aèria del seu territori, tantes estacions meteorològiques aeronàutiques com s'estimi que siguin necessàries, podent serà aquestes independents o estar combinades amb una estació sinòptica» (Art. 4.1 apartat 1 de l'Annex 3).

A més, a Europa existeix una regulació específica d'àmbit regional on, els reglaments bàsics han sigut aprovat pel Parlament Europeu, a través del projecte per a la gestió del Single European Sky (SES), i associades a ell, l'Iniciativa Conjunta per a la investigació de la gestió del trànsit aeri en el Cel Únic Europeu (Single European Sky Air Traffic Management Research (SESAR)) i el projecte de segmentació de l'espai aeri per blocs aeris funcionals o Functional Air Block (FAB) (Figura 1).

### **Blocs Funcionals de l'Espai Aeri Europeu (FAB)**

Dins de les regulacions d'Espai Únic Europeu està previst que funcionin unes sub-regions per diversos aspectes de la gestió del trànsit aeri. Els National Meteorologic Service (SMN) membres de l'European National Meteorological Services (EUMETNET) s'han donat pressa per realitzar aliances per a la coordinació dels serveis meteorològics aeronàutics en cadascun dels blocs FAB:

- Blocs Funcionals de l'Espai Aeri Europeu Centre Est (FABCE): Àustria, Bòsnia i Hercegovina, Croàcia, República Txeca, Hongria, Eslovàquia i Eslovènia.
- Blocs Funcionals de l'Espai Aeri Europeu Central (FABEC): Bèlgica, França, Alemanya, Luxemburg, Holanda i Suïssa.
- Blocs Funcionals de l'Espai Aeri Europeu Regne Unit i Irlanda (FAB UK-IR): Regne Unit i Irlanda.
- Blocs Funcionals de l'Espai Aeri Europeu SW (FAB SW): Espanya i Portugal.
- Blocs Funcionals de l'Espai Aeri Europeu Bàltic (FAB B): Estònia, Letònia, Lituània i possiblement Polònia.
- Blocs Funcionals de l'Espai Aeri Europeu NE (FAB NE): Dinamarca, Finlàndia i Suècia (no s'acaba d'incorporar Noruega).



**Figura 1:** Espai Aeri Europeu – Functional Airspace Block.

### 2.1.3 Altres organismes internacionals

L'aviació internacional té una estructura complexa sotmesa a altres convenis i organismes que influeixen en la coordinació i regulació general i que, en certs aspectes, afecten a les normes internacionals per a l'oferiment dels serveis meteorològics a l'aviació. Entre ells es destaca:

#### **A Europa:**

- L'Organització Europea per a la Seguretat de la Navegació Aèria (EUROCONTROL).
- L'European Aviation Safety Agency (EASA), creada per l'UE al 2003.
- L'Agrupació d'Interès Econòmic dels Serveis Meteorològics europeus, EUMETNET. Els temes referents a serveis meteorològics a l'aviació s'estudien principalment pel seu grup de treball, AVIMET. EUMETNET, a més, ha creat un equip per coordinar la participació en concursos de SESAR.

#### **A l'Àfrica:**

- L'Organisme per a la Seguretat de la Navegació Aèria a l'Àfrica i Madagascar (ASECNA).

#### **Globalment:**

- L'Associació de Transport Aeri Internacional (IATA).
- El Consell Internacional d'Associacions de Propietaris i Pilots d'Aeronaus (IAOPA).
- L'Grup Intergovernamental d'Experts sobre el Canvi Climàtic (IPCC).

### 2.1.4 Prestació dels serveis meteorològics aeronàutics

Sobre la designació de l'autoritat meteorològica aeronàutica a cada Estat, l'OMM va indicar (informació de fons en el document de 07(6) de la reunió de la Comissió de Meteorologia Aeronàutica, febrer de 2010):

El paper dels governs nacionals queda clarament definit pel que fa a l'obligatorietat de regular els serveis meteorològics per a l'aviació. L'ICAO i l'OMM són organitzacions encarregades de designar les Autoritats Meteorològiques que prestaran aquest servei. En molts casos, aquesta autoritat forma part o bé de l'Autoritat d'Aviació Civil o del Ministeri de Transports, o bé és una entitat separada que està associada o forma part del SMN. L'ICAO recomana i, en alguns Estats o estructures regionals com en el SES, obliga, que existeixi una separació clara entre l'oferiment de serveis i l'autoritat reguladora.

A la majoria, els proveïdors de serveis meteorològics, o bé són part d'un departament governamental (per exemple el SMN) o bé es constitueix una agència connectada amb el SMN o amb el Proveïdor de Serveis a la Navegació Aèria. L'Estat doncs:

- Té l'obligació contractual sota un tractat internacional de complir els compromisos de les regulacions internacionals vigents.
- Té l'obligació de proporcionar un servei competitiu malgrat l'existència d'un monopoli, assegurant la satisfacció dels usuaris i clients del servei i que les despeses d'aquest es trobin en preus raonables.

#### Situació actual a Europa

Abans d'aplicar-se la normativa de les SES, l'autoritat meteorològica aeronàutica a efectes de l'ICAO i l'OMM penjava del propi subministrador dels serveis o en el ministeri del que depenia. El servei es facilitava mitjançant el SMN, encara que no en tots els casos, doncs en alguns Estats europeus existeix un Servei Meteorològic per a l'Aviació independent del SMN. Això és el cas, per exemple, d'Àustria i Bèlgica.

Els organismes que faciliten l'informació, SMN en la seva majoria, continuen essent els responsables després d'haver obtingut el certificat per a l'explotació d'aquesta tasca:

- Bèlgica: L'autoritat Reguladora és la Direcció General del Transport Aeri a Bèlgica (DGLV/DGTA). El proveïdor de serveis designats és Belgcontrol, un organisme autònom i públic responsable de la gestió del trànsit aeri, dels serveis meteorològics a l'aviació i de les comunicacions associades.
- Regne Unit: L'autoritat reguladora és l'Autoritat d'Aviació Civil. El proveïdor de serveis per a tots els usuaris aeronàutics és el Servei Meteorològic Nacional del Regne Unit, la Met Office. Els usuaris sota contracte amb l'Autoritat d'Aviació Civil i amb la National Air Traffic Services Limited (NATS), un organisme que es va separar d'Aviació Civil per gestionar el trànsit aeri a la zona de l'Atlàntic Oriental i que està privatitzada. A més, la Met Office té responsabilitats internacionals, sota designació de l'OMM i l'ICAO, per a les següents tasques:
  1. Centre Mundial de Pronòstic d'Àrea (WAFC).
  2. Centre d'Informació sobre Cendres Volcàniques (VAAC) responsable per les illes Britàniques i Islàndia.

### 3. Sistema de distribució de dades satèl·lit per l'aviació (SADIS).

- França: L'autoritat reguladora està sota responsabilitat de la Direcció General de l'Aviació Civil. El proveïdor de serveis meteorològics per tots els usuaris aeronàutics és el Servei Meteorològic Nacional de França, Météo-France, que té, a més, responsabilitats internacionals, sota designació de l'OMM i l'ICAO, per les següents tasques:
  1. Centre d'Informació sobre VAAC de Toulouse, responsable el continent europeu, pròxim Orient, part d'Àsia i tota Àfrica.
  2. Centre d'Informació sobre Ciclons Tropicals.
  3. Base de dades Meteorològiques Operatives (Base de dades Meteorològiques Operatives (OPMET)) per Europa.

### Situació als Estats Units

Als Estats Units existeix des de fa bastants anys una compartició organitzada dels serveis meteorològics aeronàutics entre l'autoritat nacional d'aviació civil, el National Weather Service de la NOAA i el sector privat que subministra bona part del servei.

Actualment, a l'aviació civil del Estats Units s'està produint una generalitzada i profunda renovació de l'estructura del servei i de les seves prestacions per adaptar-se al "sistema de transport aeri de nova generació (NextGen)" que promou l'augment de la capacitat i la fiabilitat, la millora de la seguretat i el fet de minimitzar l'impacte ambiental de l'aviació. Amb la finalitat de complir aquests objectius, es va crear l'Oficina Conjunta de Planificació i Desenvolupament (JPDO) per a la coordinació del sector privat en l'àmbit de l'investigació i del desenvolupament, per formar una estructura d'empresa global, i per avançar en les activitats de planificació des de l'estat inicial fins a l'aplicació final per l'usuari final.

## 2.2 Context nacional

Fins fa pocs mesos a Espanya existia un únic gestor aeroportuari i proveïdor de serveis de navegació aèria, l'Entitat Pública Empresarial AENA. No obstant, les regles del joc estan canviant a conseqüència de que Espanya, com Estat membre de l'Unió Europea i signant dels diferents tractats, està obligada a complir qualsevol reglament sense necessitat de que el seu contingut estigui acatat per l'ordenança jurídica espanyola. A més, al 2010 es van aprovar una sèrie de mesures encarrilades a resoldre certs problemes estructurals del sistema de transport aeri espanyol.

En primer lloc, dins de l'ATM s'ha incorporat al conjunt de Flight Information Service (FIS) d'Espanya, el servei Aerodrome Flight Information Service (AFIS) (Reial Decret 1133/2010). El servei d'informació AFIS dona servei a tot el trànsit aeri de maniobra d'un aeròdrom (és a dir, a la part de l'aeròdrom que ha d'utilitzar-se per a l'enlairament, aterratge, rodatge de l'aeronau en pista, excloent les plataformes) i a totes les aeronaus que volin dins de la zona d'informació de vol (FIS) associada. Aquest servei només informa a les aeronaus que operen en l'aeroport AFIS i en la FIS associada i, entre l'informació que se subministra, es troba la informació meteorològica aeronàutica associada que requereixen les tripulacions.

## **2.3 Marc regulador**

Com ha quedat retratat en l'apartat dedicat al context internacional, la prestació dels serveis meteorològics a la navegació aèria s'exerceix seguint unes estrictes normes de caràcter tècnic-meteorològic imposades fonamentalment per l'OMM i l'ICAO, amb la finalitat de garantir estàndards a nivell internacional. Així doncs, aquests serveis queden subjectes a les regulacions pròpies de l'ordenança jurídica en el que s'emmarca el sector aeri, tan a nivell nacional com internacional. Així doncs, les lleis o reglaments nacionals que afectes al nostre sistema d'aeroports, són també d'obligatorietat en termes d'estricta compliment per l'Agència Estatal de Meteorologia (AEMET).

### 3 Fenòmens meteorològics que afecten a l'aviació

En l'operació diària d'un aeroport s'executen un conjunt de processos relacionats amb el tractament d'aeronaus, de passatgers, d'equipatges, d'infraestructures, etc. Són els anomenats processos aeroportuaris, on la seva finalitat es aconseguir que la frenètica activitat que té lloc a un aeroport es desenvolupi de manera eficient i segura, on els passatgers i les aerolínies rebin qualitat. En aeroports internacionals com per exemple el de Barcelona, el control en temps real dels processos aeroportuaris es realitza des del Centre de Gestió Aeroportuària (CGA), que és el centre neuràlgic de l'aeroport.

La meteorologia és un dels factors que influeixen significativament a la gestió dels processos aeroportuaris, en particular en la programació diària de les aeronaus. En dies amb temps advers, les operacions de vol poden arribar a saturar l'operativa d'un aeroport degut al col·lapse d'operacions. És per això que un CGA necessita disposar d'informació meteorològica, específica i actualitzada amb regularitat, per tal de planificar amb eficiència i seguretat el desenvolupament de tots els processos que tenen lloc en un aeroport. Tan és així, que un concepte tan aparentment simple com l'altura de la base dels núvols sobre un aeroport determina el tipus d'aproximació que es farà, o que per les operacions de fer benzina de les aeronaus s'ha de tenir en compte l'activitat tempestuosa en els aeroports i les seves proximitats. Inclús la pèrdua d'informació meteorològica essencial pot provocar la cancel·lació temporal d'operacions prèviament programades.

Els fenòmens meteorològics adversos causen seriosos problemes en els aeroports, majors com més grans són, fent que la informació meteorològica sigui un element imprescindible en la gestió aeroportuària. Per una operació segura és necessari conèixer les observacions i el pronòstic a l'aeroport, amb la finalitat de la presa de decisió més encertada a l'hora d'activar els diferents procediments que es regeixen en l'àmbit de l'aeroport. Aquestes decisions estan directament relacionades i són influents en el temps d'espera dels passatgers i al temps de permanència dels avions a terra. Reduir els temps d'espera permet reduir els costos a la mateixa vegada que es redueix la contaminació atmosfèrica i acústica, cosa que repercuteix en una millora de la qualitat medio-ambiental.

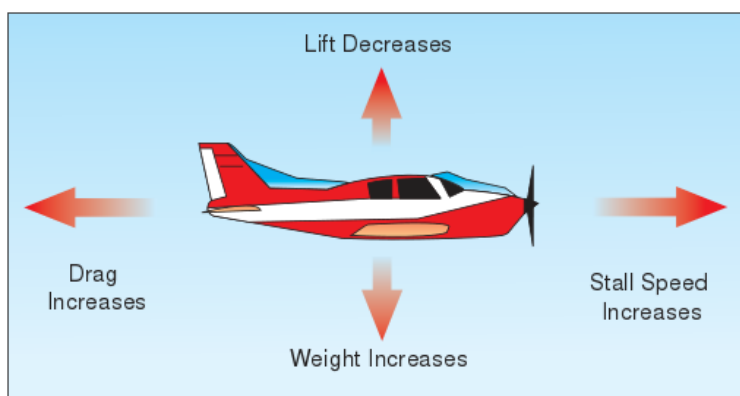
Un altre terme a tenir en compte, a diferència de l'eficiència i dels costos, és el tema de la seguretat. Condicions meteorològiques adverses poden posar en perill diferents operacions tan a nivell d'aeroport com a nivell de vol (aproximacions, aterratges, etc...).[7] Molts dels accidents i incidents són deguts a situacions meteorològiques adverses. Els mateixos fenòmens meteorològics es poden trobar durant l'enlairament o bé en ruta; no obstant, les conseqüències acostumen a ser menys severes degut a la mitigació dels efectes de proximitat amb el sòl. És per això, que cal tenir en compte quins són els fenòmens meteorològics més significatius que poden succeir en les diferents operacions que envolten un vol. A continuació es realitza una descripció detallada dels diferents fenòmens meteorològics que afecten al món de l'aviació així com un anàlisi de quins són els seus efectes sobre les aeronaus i sobre les instal·lacions aeroportuàries.

#### 3.1 Icing (ICE)

Una de les hipòtesis més simples fetes sobre els núvols és que les gotes dels núvols estan en una forma líquida a temperatures més càlides que  $0^{\circ}\text{C}$  i que es congelen en cristalls de gel pocs graus sota zero. En realitat, està estipulat que els  $0^{\circ}\text{C}$  és la temperatura per sota del qual les gotes d'aigua són capaces de congelar-se. Mentre que moltes de les gotes sobrefredades sí que es congelen a temperatures just per sota dels  $0^{\circ}\text{C}$ , altres persisteixen en estat líquid a temperatures molt més baixes. L'icing en les aeronaus passa quan les gotes d'aigua sobrefredades colpegen una aeronau on la temperatura està

per sota dels  $0^{\circ}\text{C}$ . Això, pot tenir efectes adversos per a l'aeronau, entre d'altres:

- Interrupció del flux laminar sobre les ales causant una disminució en l'ascensió i un augment de la velocitat de pèrdua. Aquest últim efecte és particularment perillós.
- Augment de pes i de la fricció que fa augmentar el consum de combustible.
- Bloqueig parcial o complet dels pitot i de l'electrònica causant lectures errònies de les mesures fetes pels instruments de vol.
- Restricció de la visibilitat pel gel acumulat en el parabrisa.



**Figura 2:** Efecte del gel en l'aeronau. (Font: LAKP-Yukon, NWT, Nunavut)

L'efecte de l'*icing* pot ocórrer sempre que la temperatura de l'aire es trobi entre els  $-20^{\circ}\text{C}$  i els  $8^{\circ}\text{C}$  i existeixi humitat visible a l'atmosfera com per exemple pluja, neu, boira, núvols, etc.

Malgrat que la temperatura de congelació de l'aigua és de  $0^{\circ}\text{C}$ , pot formar-se gel a temperatures més elevades tal i com s'ha comentat anteriorment. Això és gràcies a la pressió que pateix l'aire per la velocitat de l'aeronau, provocant una caiguda de la pressió estàtica. Donat que això passa a una velocitat força elevada, es tracta d'un procés adiabàtic en el que la disminució de la pressió correspon a un refredament, amb valors de descens de la temperatura de fins a  $8^{\circ}\text{C}$ , cosa que significa que en aquestes zones és possible assolir la temperatura de congelació.

No obstant, el límit inferior dels  $-20^{\circ}\text{C}$ , es veu compromès amb un estat físic de l'aigua, molt inestable, anomenat "aigua sobrefredada" o subfusió, que presenta les característiques de l'existència de l'aigua líquida a temperatures inferiors als  $0^{\circ}\text{C}$ . Qualsevol succés, com l'impacte d'aquesta sobre qualsevol part de l'aeronau, podria accionar ràpidament l'estat de congelació.

### 3.1.1 Efecte de l'acumulació de gel en les aeronaus

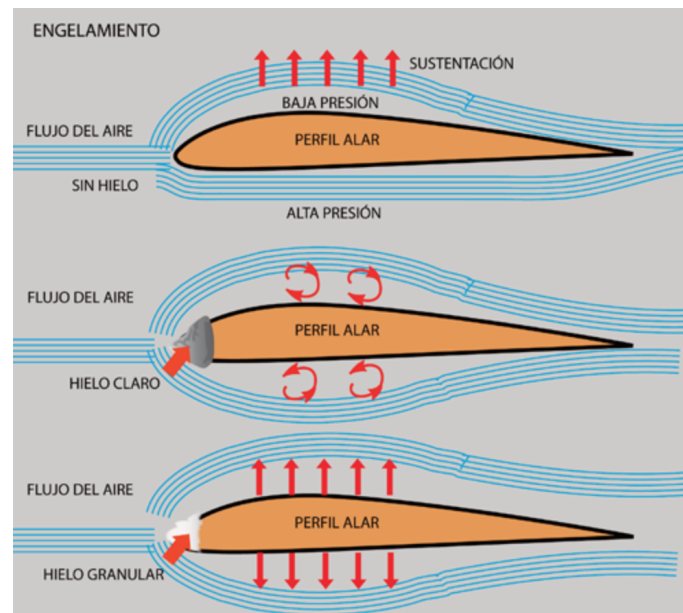
En aquest apartat es descriuen els efectes del gel sobre les aeronaus tal i com es mostra en la Figura 3.

#### 3.1.1.1 Formació de gel a les vores d'atac de l'ala

La deformació del perfil de l'ala a les vores d'atac degut a gel granulat adopta un perfil més afilat



del normal, mentre que la deformació degut a gel clar pren una forma més aplanada, essent aquesta última més perillosa. La capa límit es torna més turbulenta produint la separació del flux laminar per un angle d'atac més petit, augmentant la velocitat de pèrdua, el pes i la resistència aerodinàmica de l'aeronau i, reduint també, la sustentació màxima. A la Figura 3 es mostra un exemple de deformació de l'ala en funció del tipus de gel.



**Figura 3:** Perfils de les ales contaminats per gel granulat i gel clar.

### 3.1.1.2 Formació de gel en els alerons

La formació de gel en la vora davantera dels alerons pot produir una entrada en pèrdua de l'extrem de l'ala i la pèrdua de control de direcció de la aeronau. Els alerons tendeixen a acumular gel amb més facilitat que la resta de l'ala, degut a que posseeix una secció transversal més prima.

### 3.1.1.3 Altres zones d'una aeronau propenses a la formació de gel

A part de les zones anteriorment comentades, n'hi ha d'altres que també estan en risc de patir l'efecte de congelació i, conseqüentment, ser un risc per a la navegació. El tren d'aterratge pot quedar bloquejat, complicant l'aterratge. Les comunicacions poden veure's afectades i tallar-se degut a la formació de gel a l'antena, l'estabilitzador, les hèlix, el tub PITOT, el motor, el carburador, etc...

## 3.2 Visibilitat (VIS)

En aeronàutica, la visibilitat és un paràmetre extremadament important durant les fases d'enlairament, aproximació i aterratge. Una baixa visibilitat a l'aeròdrom pot provocar accidents i incidents, o en el millor dels casos, forçarà a tancar les pistes i, en conseqüència, provocarà desviaments de vols i cancel·lacions. La falta de visibilitat en sí, no és un fenomen meteorològic, sinó un efecte degut per la presència de fenòmens meteorològics com la boira, boirina, calitja, plugim, pluja o neu.



El terme "visibilitat aeronàutica" es té en consideració a l'Annex 3 de l'ICAO "Servei meteorològic per a la navegació aèria internacional" on es defineix com el valor més elevat entre aquests dos casos:

- La distància màxima a la que es pot veure i reconèixer un objecte de color negre de dimensions considerables, situat prop de terra, al ser observat davant d'un fons brillant.
- La distància màxima a la que es poden veure i identificar els llums aproximadament de 1000 espelmes davant d'un fons no il·luminat.

L'ICAO ha desenvolupat diverses formes de quantificar la visibilitat per a la planificació i el desenvolupament segur de les operacions aèries, la visibilitat horitzontal, la visibilitat vertical i la visibilitat obliqua.

### 3.2.1 Visibilitat horitzontal

Existeixen cinc definicions de la visibilitat horitzontal basades en diferents criteris, la visibilitat principal, la visibilitat en vol, la visibilitat a terra, el Runway Visibility Value (RVV) i el Runway Visual Range (RVR), essent aquesta última la més important i, per tant, en la que ens centrarem.

#### Runway Visual Range (RVR)

Es defineix com la distància màxima a la que el pilot d'una aeronau que es troba sobre l'eix d'una pista pot veure clarament les senyalitzacions de superfície, els llums que delimiten o que centren el seu eix, considerant que la vista del pilot en la presa de contacte queda a una altura mitjana de 5 metres.

La RVR s'ha d'incloure en el METAR si és inferior a 1.500 m, i s'ha de donar amb increments de 25 m a 60 m fins els 800 m i de 100 m per una RVR superior. Una RVR superior a 800 m permet realitzar aproximacions visuals, mentre que si és inferior, es requereix fer aproximacions de precisió per instrumentació (IFR). Això significa que si es vol operar amb baixa visibilitat, és a dir, sota Instrumental Meteorological Conditions (IMC), tan l'aeronau com la tripulació hauran de tenir un certificat addicional d'IFR i l'aeroport haurà de disposar d'un Instrumental Landing System (ILS) o un Microwave Landing System (MLS) per tal que es proporcioni un sistema de guia vertical i lateral fins a la proximitat de la pista, en cas contrari, les pistes de l'aeroport hauran de procedir al seu tancament, interrompent el trànsit aeri.[2]

El sistema més utilitzat en els aeroports és l'ILS, descrit a l'Annex 14 de l'ICAO "Aeròdroms", on existeixen tres tipus de categories, CAT I, CAT II i CAT III. Aquesta última subdividida en IIIA, IIIB i IIIC, tal i com es mostra a la Taula 2. La restricció imposada per la RVR i la altura de decisió (DH)<sup>1</sup> en les operacions aèries es redueix amb l'augment de categoria, anul·lant-se per complert amb CAT IIIC, on es permet operar amb nul·la visibilitat.

Aproximació Visual	CAT I	CAT II	CAT IIIA	CAT IIIB
<b>Sense DH</b>	200 ft < DH < 300 ft	100 ft < DH < 200 ft	DH < 100 ft	DH < 50 ft
<b>RVR &gt; 800 m</b>	550 m < RVR < 800 m	300 m < RVR < 450 m	RVR > 200 m	75 m < RVR < 200 m

**Taula 2:** Categoria de ILS necessària a pista en funció del RVR.

<sup>1</sup> L'altura de decisió és l'altura en la que s'ha d'iniciar la maniobra d'aproximació frustrada si no s'ha establert la referència visual requerida per poder continuar amb l'aproximació i aterratge.

En resum, per volar amb una RVR inferior a 800 m, és necessari que, tan l'aeronau com la seva tripulació tinguin el certificat IFR i, que l'aeroport de destí disposi de les ajudes instrumentals requerides.

### 3.2.1.1 Factors que afecten a la visibilitat horitzontal

La visibilitat horitzontal depèn de les característiques de la pista i de les condicions meteorològiques presents sobre l'aeròdrom.

#### Característiques de l'objecte a observar

El color, la brillantor i la mida són aspectes de l'objecte a observar que influeixen en la seva detecció. Els objectes de majors dimensions, més brillants i de color clar, acostumen a ser detectats a major distància. Colors clars, posseeixen un albedo més elevat i això es tradueix en una baixa absorció de la llum incident i en una alta reflexió de la llum.

#### Característiques de la pista

Les característiques anteriorment esmentades poden modificar la percepció del pilot sobre l'ambient que el rodeja i, fins i tot, crear il·lusions òptiques.

Si el terreny és ascendent el pilot observa un major angle de descens, i l'aterratge que es pot realitzar queda curt. En canvi, si és descendent, l'angle de descens que rep el pilot és menor, i com a resultat esdevé un aterratge llarg. Quan es parla d'un aterratge llarg o curt, s'ha de fer tenint en compte com a referència el *touchdown*<sup>2</sup> a la capçalera de la pista. Una primera presa de contacte a la pista molt allunyat de la capçalera podria deixar al pilot amb poca pista útil per a frenar l'aeronau. A la Figura 4 es mostra un exemple gràfic del comentat.

#### Ampla de la pista

Una pista més estreta de lo normal pot crear la il·lusió òptica de que l'aeronau es troba a més altura de la que en realitat es troba, corrent el risc de que es puguin colpejar obstacles durant l'aproximació o bé que realitzi un aterratge curt. Aquest fenomen visual s'inverteix amb pistes molt amples, provocant aterratges llargs (Veure Figura 4).

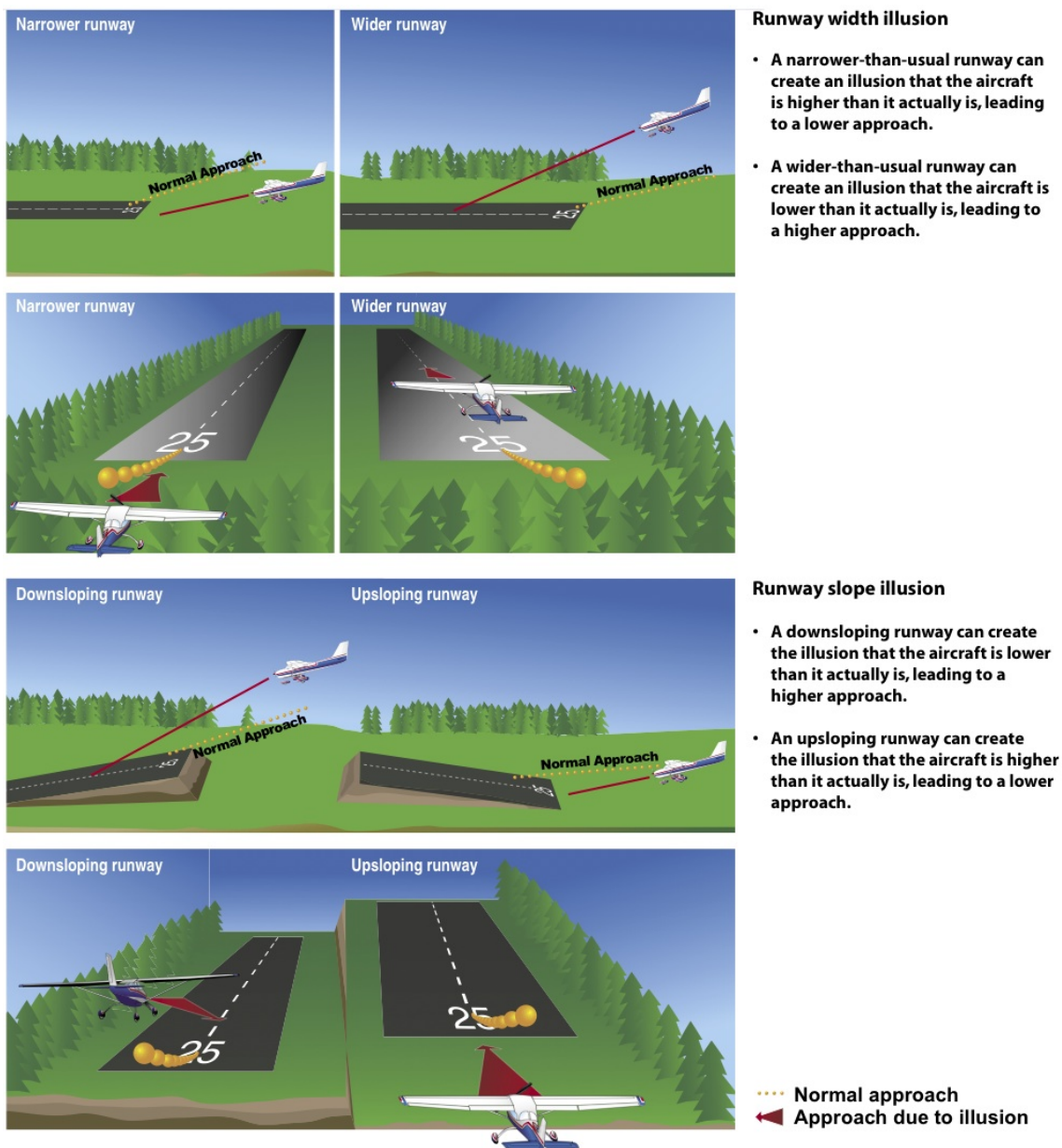
#### Balises de la pista

Els llums d'alta intensitat de la pista passen pràcticament desapercebudes per la contaminació lumínica causada per les zones habitades, provocant la desorientació del pilot i conseqüentment la dificultat per trobar-la. Durant la fase d'aproximació, el pilot percep una altitud major que la real respecte la pista realitzant un aterratge llarg. En canvi, si la nit és fosca i la pista està molt il·luminada, el pilot percep estar més prop de la pista del que realment està i realitza un aterratge curt.

### 3.2.2 Visibilitat vertical

És la distància màxima a la que un observador pot veure i identificar un objecte sobre/sota la seva mateixa vertical. Sota condicions de boira a l'aeròdrom, aquesta visibilitat sempre serà superior a la

<sup>2</sup>Durant la fase d'aterratge, el "touchdown" és el primer punt de contacte del tren d'aterratge amb l'asfalt de la pista.



**Figura 4:** Il·lusió òptica deguda a la inclinació del terreny en les proximitats de la pista.

obliqua.

### 3.2.3 Visibilitat obliqua

Distància màxima a la que un observador pot veure i identificar un objecte situat a una diferent altura i vertical. Amb cel serè la visibilitat obliqua és superior a la horitzontal, donat que la majoria de partícules de pols i fum es concentren prop de terra.

### 3.2.4 Condicions meteorològiques que redueixen la visibilitat i comportament de l'aeronau

En aquest apartat es descriuen com es redueix la visibilitat horitzontal en presència de un fenomen meteorològic determinat.[13]

#### 3.2.4.1 Posició del sol

Si l'observador mira cap a la posició del sol, la seva visibilitat es redueix.

#### 3.2.4.2 Vent

La visibilitat contra el vent augmenta ja que arrossega partícules de fum i de pols impeding el seu estacionament. Amb dificultat, es produeixen importants reduccions de la visibilitat per fum o pols encara que, si succeeix, la visibilitat no es veu reduïda per sota dels 4 km.

#### 3.2.4.3 Pluja (RA)

Al comparar una pluja d'intensitat moderada amb els plugims també moderats de la Taula 3 i Taula 4 resulta que els plugims redueixen més la visibilitat malgrat que el diàmetre de les gotes és molt inferior ( $40 - 200\mu m$ ). Això es deu a que a part de les gotes d'aigua precipitants hi ha moltes altres coses de mida minúscula que es mantenen en suspensió, formant boires o boirines que fan reduir la visibilitat. És important dir que la visibilitat mínima causada per la pluja pot arribar als 50 m, és a dir, un valor 10 vegades més petit que el causat pels plugims. La visibilitat nocturna per ambdós fenòmens comparant les mateixes intensitats de precipitació entre el dia i la nit acostumen a ser majors, excepte en el cas de la pluja per intensitats fortes o molt fortes.

Il·luminació	Tropical intensa	Molt intensa	Intensa	Moderada	Lleugera	Molt lleugera
Nit	1,1 – 0,2	2,0 – 1,1	5,7 – 2,0	11,4 – 5,7	17,5 – 11,4	30,0 – 17,5
Dia	0,5 – 0,05	1,0 – 0,5	4,0 – 1,0	10,0 – 4,0	20,0 – 10,0	50,0 – 20,0

**Taula 3:** Reducció de la visibilitat (en km) en condicions de pluja (segons intensitat).

Les gotes d'aigua que es poden acumular en el parabrises d'una aeronau, i al estar sotmeses als raigs de llum solar, poden experimentar el fenomen de la refracció produint la desorientació del pilot respecte a l'altitud i la direcció real. Aquest fenomen pot provocar que els aterratges siguin de 1.000 m a 1.600 m més curts o llargs de lo normal.[13]

Il·luminació	Tropical intensa	Molt intensa	Intensa	Moderada	Lleugera	Molt lleugera
Nit	N/D	N/D	2,0 – 1,1	3,4 – 2,0	5,7 – 3,4	N/D
Dia	N/D	N/D	1,0 – 0,5	2,0 – 1,0	4,0 – 2,0	N/D

**Taula 4:** Reducció de la visibilitat (en km) en condicions de plugims (segons intensitat).

Un altre aspecte a tenir en compte a terra és que el radar de l'aeroport no pugui localitzar l'aeronau degut als ecos de les gotes d'aigua en suspensió, fent que els controladors percebin falsos ecos.

#### 3.2.4.4 Neu (SN)

La reducció de la visibilitat amb nevades o tempestes de neu depèn de la intensitat de la precipitació, de la temperatura ambient i de la il·luminació de l'entorn. De la Taula 5 es dedueix que la visibilitat durant la nit és superior en tots els casos, degut al fort contrast entre el color blanc amb la foscor. Una altra observació és que la visibilitat en aquestes condicions augmenta amb la temperatura, donat que la neu es desfà més ràpidament.

Il·luminació	Temperatura (°C)	Força	Moderada	Lleugera	Molt lleugera
Nit	> -1	= 1,6	4,0 – 1,6	6,4 – 4,0	> 6,4
Nit	< -1	= 1,2	2,4 – 1,2	4,8 – 2,4	> 4,8
Dia	> -1	= 0,8	2,4 – 0,8	4,8 – 2,4	> 4,8
Dia	< -1	= 0,6	1,4 – 0,6	3,2 – 1,4	> 3,2

**Taula 5:** Reducció de la visibilitat (en km) en condicions de nevada (segons intensitat).

La visibilitat pot arribar a ser nul·la amb l'aparició de fenòmens com el *whiteout*. Aquest fenomen és un fenomen òptic atmosfèric que succeeix en condicions de llum de dia, on el pilot se sent envoltat per un lluentor de color blanc uniforme com a resultat de la falta de contrast entre el cel ennuvolat, és a dir, *overcast* (OVC) i la neu recent caiguda on no presenta irregularitats en la superfície. El pilot, volant sota condicions VFR<sup>3</sup> perd el sentit de la profunditat i orientació sense diferenciar les ombres, l'horitzó i la nuvolositat i, a les primeres de canvi, aquest haurà de fer un tomb de 180° per buscar unes millors condicions meteorològiques de vol.[13]

La neu humida sobre superfícies de l'aeronau amb temperatura inferior als 0°C, pot produir condicions de gelada reduint el comportament de l'aeronau i la visibilitat en el parabrises, a diferència de la neu seca que presenta una baixa adherència.

La neu no només pot afectar a l'aeronau, sinó que també a les instal·lacions de terra, contaminant amb més de 3mm de gruix la superfície del terra, podent disminuir el contrast entre la pista d'aterratge i l'entorn, quedant oculta per al pilot que vola en VFR.[12]

### 3.2.4.5 Tempesta de sorra o pols (SA o DS)

La visibilitat pot quedar totalment reduïda degut a la combinació de ratxes de vent turbulent amb pols i sorra. Es tracta d'un fenomen meteorològic típic de regions desèrtiques. La pols, per definició està formada per partícules amb un diàmetre inferior a 0,08mm, afavorint que pugui romandre durant dies en suspensió, en absència de vents de caràcter important. Quan el vent excedeix la velocitat de 15kts, comencen a formar-se remolins de pols i sorra. Si la velocitat del vent s'incrementa o persisteix, les partícules pesades precipiten sobre la pista d'aterratge o enlairament i emmascaren la senyalització. Les partícules més lleugeres poden ascendir fins als 3.000ft en atmosfera estable o fins a 15.000ft en el cas d'inestabilitat atmosfèrica, formant núvols que redueixen extremadament la visibilitat en les fases de creuer i aproximació. També és important dir que, la pluja generada per aquests núvols, és fang. La reducció de la visibilitat deguda a aquest tipus de pluja és superior a la de la pluja convencional.

Acostumen a ser fenòmens de caràcter local que es formen a Egipte, Iran i Iraq, Centre Orient, certes parts dels Estats Units, Mèxic, al desert de Gobi a la Xina i en deserts australians i al Sudan.[5]

Com a dada curiosa comentar que aquest fenomen no afecta únicament a la visibilitat, donat

<sup>3</sup>Els vols IFR no eviten les situacions de whiteout. S'han donat casos en els que l'aeroport de destí no estava equipat amb sistema ILS, obligant a les aeronaus a retirar-se a l'aeroport alternatiu. Les aeronaus no només tenen un únic pilot i, per aquest motiu, un dels pilots mira les ajudes instrumentals i l'altre busca el contacte visual amb la pista.

	DS Molt baixa	DS lleugera	DS mdoerada	DS forta	DS molt forta
<b>Visibilitat en m</b>	VIS > 10.000	1.000 – 10.000	500 – 1.000	50 – 500	VIS < 50
<b>Velocitat del vent en m/s</b>	N/D	N/D	10,8 – 20,7	17,2 – 24,4	20,8 – 24,4

**Taula 6:** Reducció de la visibilitat ver la intensidad de la DS.

que la pols i la sorra, al igual que les cendres volcàniques, poden introduir-se en el motors i turbines, causant seriosos danys. Tenint en compte que una erupció volcànica convencional sol alliberar 500 milions de tones de pols a l'atmosfera i que des de 1980 ha hagut al voltant de unes 100 erupcions volcàniques a nivell mundial, es pot dir que es tracta d'un fenomen d'alta freqüència d'aparició.

### 3.2.4.6 Boira

La boira és un núvol estratiforme a nivell superficial, de gruix i densitat variable, que presenta un color blanc o gris clar que dificulta la visió quan aquesta és densa. Físicament no hi ha cap diferència entre la boira i el núvol, la única diferència radica en el mètode i el lloc de formació. Mentre que els núvols ho fan per elevació i refredament de l'aire fins a arribar al nivell de condensació, la boira es forma a nivell de terra per l'augment del contingut de vapor d'aigua a l'aire, o per refredament de l'aire fins a arribar a la saturació.

Il·luminació	Boira molt espesa	Boira espesa	Boira regular	Boira moderada	Boirina	Boira dèbil
<b>Nit</b>	< 0,2	0,5 – 0,2	1,1 – 0,5	2,0 – 1,1	3,4 – 2,0	11,4 – 3,4
<b>Dia</b>	< 0,05	0,2 – 0,05	0,5 – 0,2	1,0 – 0,5	2,0 – 1,0	10,0 – 2,0

**Taula 7:** Reducció de la visibilitat (en km) en l'interior de boires i boirines.

## 3.3 Turbulències

La turbulència és l'estat d'un fluid on les velocitats de les partícules mostren fluctuacions irregulars i aleatòries. En termes aeronàutics, es pot definir la turbulència com el canvi de direcció i/o velocitat del vent en trams de vol extremadament curts; aquests fluxos irregulars produeixen sobre les aeronaus canvis sobtats en la trajectòria i pèrdues de sustentació de l'aeronau.

Si el terra fos uniformement llis i l'atmosfera estable, el vent fluiria per capes paral·leles sense veure's alterat, tenint un comportament totalment laminar on la velocitat del vent en un punt donat seria pràcticament constant. No obstant, això no succeeix així. El terra és irregular i està ple d'obstacles i l'atmosfera poques vegades és totalment estable.[5]

Per aquest motiu, ens trobem que l'aire forma remolins inesperats anomenats turbulències les quals, segons el seu origen es poden distingir en:

- Turbulència mecànica – deguda a la fricció de l'aire amb irregularitats del terreny; predomina, per tant, en les capes inferiors.
- Turbulència tèrmica – deguda a la inestabilitat tèrmica de l'aire. Acostuma a predominar en altures mitges, a excepció de les CAT que succeeixen més sovint a la troposfera i a la baixa atmosfera.



### 3.3.1 Turbulència tèrmica o convectiva

Les tèrmiques són bombolles d'aire que ascendeixen verticalment des de les capes baixes de la troposfera, degut a la seva baixa densitat. Segons l'equació d'estat,  $PV = RT$ , si es calenta una massa d'aire i es manté a pressió constant, aquesta augmenta el seu volum i disminueix la seva densitat de tal forma que experimenta una força ascendent, l'aire convergeix en superfície i divergeix prop de la tropopausa.

En el centre d'una tèrmica s'observen velocitats d'ascens positives (màx.  $35\text{ m/s}$ ), mentre que a l'exterior de la tèrmica el flux d'aire fred té velocitats verticals negatives (màx.  $-15\text{ m/s}$ ). La tèrmica provoca que l'aeronau ascendeixi i descendeixi involuntàriament. L'altura que assoleix la tèrmica depèn de la temperatura inicial de la tèrmica i del perfil de la temperatura de l'atmosfera. Aquestes masses d'aire poden condensar-se durant el seu ascens i formar núvols de desenvolupament vertical com cúmuls i cumulonimbus, la intensitat màxima d'aquest tipus de turbulència s'assoleix a l'inici de la fase de maduració del núvol.[1]

### 3.3.2 Turbulència de l'aire clar (CAT)

La Clear Air Turbulence (CAT) esdevé amb major freqüència durant l'hivern, representant un perill durant la fase de creuer, podent fer que l'aeronau descendeixi sobtadament fins a 1.000 m fins un cop el pilot pot recuperar el control de l'aeronau. Aquest fenomen succeeix en nivell propers a la tropopausa, és a dir, entre els 7.000 m i els 12.000 m d'altitud, essent molt difícil de detectar pel radar meteorològic i per la tripulació. Aquest tipus de turbulències té un gruix de 600 m i una extensió horitzontal d'entre 10 i 100 km amb una duració que oscil·la entre minuts i hores.[14]

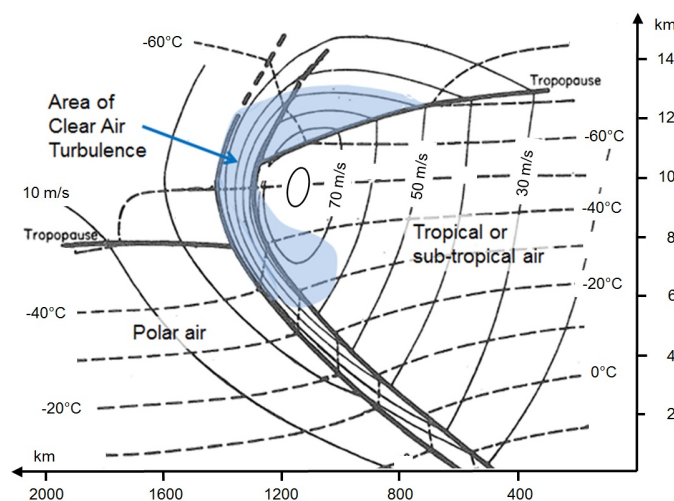


Figura 5: Sección vertical del jet stream.

La intensitat de les CAT és normalment major al costat esquerre del *jet stream*<sup>4</sup> ja que la cisalla de vent horitzontal és més gran que al costat dret. La cisalla de vent pot ser vertical o horitzontal i, pot indicar al pilot la presència de CAT. La part del davant del *jet stream* es poden arribar als màxims valors de cisalla i les majors variacions de temperatura per milla nàutica. La CAT comença amb una

<sup>4</sup>Conjunt de corrents d'aire fixes de gran diàmetre que envolten la Terra en els hemisferis nord i sud i que la recorren a gran velocitat, situats a prop de la tropopausa. Els avions les utilitzen per estalviar combustible i volar més ràpidament.

cisalla horitzontal que presenta una variació superior als 20 kts per cada 60 milles nàutiques acompanyada d'una cisalla vertical de 4 kts, l'equivalent a una variació de 5°C per cada 120 milles nàutiques de distància horitzontal, fet que permet al pilot detectar la possible CAT únicament mirant la temperatura exterior.

### 3.3.3 Ona de muntanya i ona gravitatòria

És un fenomen meteorològic que resulta de l'incidència d'un flux d'aire sobre una barrera orogràfica, que acaba adoptant un comportament ondulatori a sotavent de l'obstacle. Així doncs, es produeixen ascensos i descensos de l'aire. Les ones gravitatòries, a diferència de les ones de muntanya, es generen per la divergència de l'aire a la tropopausa.[6]

#### Requisits necessaris per a la formació d'ones de muntanya

La direcció del vent ha de ser perpendicular o desviar-se menys de 30° de l'eix de la cadena muntanyosa i la seva velocitat ha de ser superior a 15kt en el cim. A la zona de sobrevent, la velocitat del vent ha d'augmentar amb l'altura, mantenint una direcció pràcticament igual per cada nivell de vol. L'últim requisit és la presència d'una inversió tèrmica que mantingui confinada l'ona de muntanya en les regions baixes de l'atmosfera (veure Figura 6).[9]

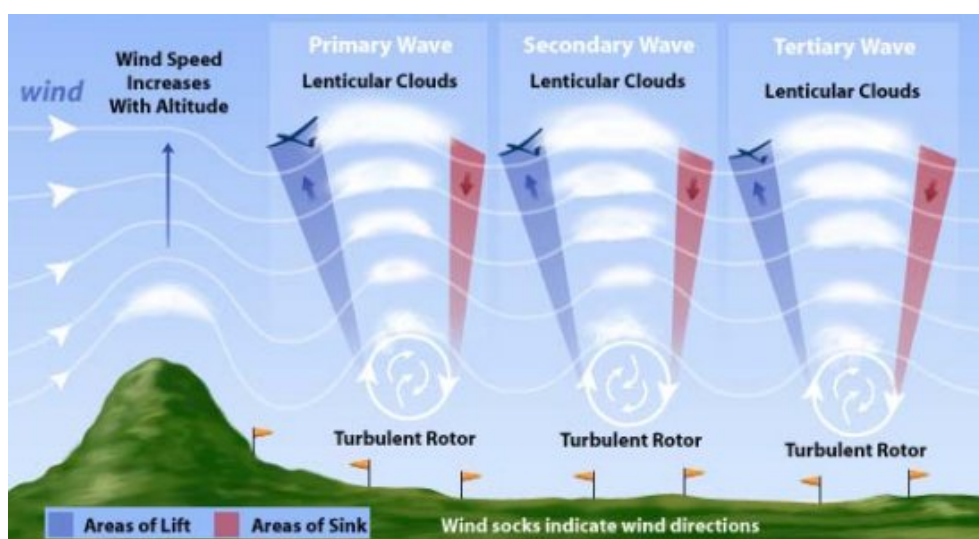


Figura 6: Ona de muntanya.

### 3.3.4 Efecte de les turbulències sobre les aeronaus

A major velocitat de l'aeronau, més gran és el número de remolins que es troba per unitat de temps, entrant i sortint d'ascensos i descensos contínuament. Això fa que es produeixin uns augments dels esforços per unitat d'àrea de l'estructura de l'aeronau.

Els remolins de petit diàmetre, ocasionen ratxes que sacsegen i mouen l'aeronau, mentre que els remolins d'una mida gran, provoquen grans ascensos i descensos. Això pot ocasionar que l'aeronau pugui arribar a caure unes quantes milles durant la fase de creuer. Un cas curiós que també pot succeir és que hi hagi l'existència de ressonància en el cas de que la freqüència dels remolins s'ajusti a la vibració natural de l'estructura de l'aeronau, fent que aquesta es pugui trencar. La ressonància sols



presentar-se en les turbulències d'aire clar i les ones gravitatòries, ja que a menor altura els remolins són més irregulars.[9]

A una altura baixa, durant les fases d'enlairament, aproximació i aterratge, les tèrmiques i les turbulències mecàniques representen una amenaça. L'augment o la reducció de l'angle d'atac ocasionat per un ascens o descens involuntari, pot acabar amb l'entrada en pèrdua de l'aeronau.

## 4 Gestió de les etapes d'un vol en condicions meteorològiques adverses

A la secció anterior s'han presentat els principals fenòmens meteorològics que afecten a l'aviació. En aquesta secció es realitza un estudi d'un recull de diferents articles acadèmics que tracten sobre quines són les fases de vol més probables a patir accidents aeris segons diferents condicions meteorològiques adverses.

Estudis com [11] mostren que les fases més perilloses de vol són aquelles en les que l'aeronau està prop de terra, és a dir, durant les fases d'enlairament, ascens inicial, ascens final, descens, aproximació inicial, aproximació final i aterratge. Complicacions en aquestes etapes de vol, se solen convertir en un accident aeri, degut a que l'aeronau es troba en una configuració vulnerable; la seva velocitat és baixa, necessita utilitzar els flaps i slats per poder mantenir-se suspès a l'aire i el pilot disposa d'un marge de maniobra molt reduït.

### 4.1 Influència de la meteorologia en les diferents fases d'un vol

Situacions de vol amb condicions meteorològiques adverses són responsables del 61,1% dels accidents aeris que ocorren durant la fase de descens, del 42,4% durant la fase d'aproximació inicial i final, del 38,3% durant la fase d'aterratge, del 32,4% durant les fases d'ascens inicial i final, i del 29,9% durant la fase de l'enlairament.[11] És evident doncs, pensar que pràcticament en totes les fases de vol, un terç dels accidents aeris han sigut per condicions meteorològiques adverses, excepte en la fase de descens que arriba als dos terços, fet que demostra la dependència de les aeronaus actuals a les condicions meteorològiques, especialment en el moment de tocar terra.

#### 4.1.1 Visibilitat

El risc de patir un accident aeri per baixa visibilitat augmenta quan l'aeronau vola especialment prop de terra. El 36,3% dels accidents per causes meteorològiques durant la fase d'aterratge es deuen a la baixa visibilitat, mentre que en l'enlairament el valor es dispara i el percentatge arriba al seu màxim amb un 54,5%. Una possible explicació a aquest fet és que per aterrar els pilots disposen de ILS, és a dir, ajuda instrumental per aterrar inclús amb visibilitat nul·la, mentre que per enlairar-se no disposen d'ajudes instrumentals. Per un pilot que opera en VFR les restriccions imposades per la RVR són majors durant l'aterratge no podent ser inferior a 800 m, mentre que per l'enlairament el límit està en els 400 m.[3]

#### 4.1.2 Turbulències

La possibilitat de que una aeronau pateixi un accident com a conseqüència de tenir una turbulència disminueix a mida que l'aeronau s'propa a la pista d'aterratge. Les turbulències a pista durant la fase d'enlairament representen l'1,5% dels accidents aeris per causes meteorològiques durant aquesta fase, mentre que en els aterratges augmenta fins al 3,3%. Una hipòtesi que explicaria la lleugera diferència entre aquests dos percentatges d'accidents aeris que passen a pista és que els pilots, moltes vegades arriben cansats i amb poc combustible als aeroport de destí i en algunes ocasions forcen l'aterratge sota fortes cisalles horitzontals, mentre que en el cas dels enlairaments simplement es cancel·la l'operació i s'espera a que les condicions meteorològiques millorin i siguin les adequades

per un enlairament segur. En les fases de vol com l'ascens, el descens i l'aproximació, degut a que es desenvolupen a major altura, els percentatges d'accidents es disparen arribant fins als 19,2%, del 56,6% i del 8,7% respectivament. Normalment, durant les fases de descens, aproximació inicial i final, aterratge o inclús en els ascensos i els enlairaments se solen trobar turbulències tèrmiques, mecàniques o *windshear*, essent aquesta últim el fenomen més perillós prop de terra, ja que pot provocar un moviment sobtat sobre l'aeronau i fer-la impactar contra l'asfalt de la pista.[8]

#### 4.1.3 Pluja, neu i tempestes

Les pistes contaminades per neu o aigua, representen una amenaça especialment durant les fases d'aterratge i enlairament, amb un 34,1% i un 18,2% d'accidents aeris respectivament. Això és degut a que no es veuen afectades únicament les plataformes de l'aeronau, sinó que també es veu alterat el coeficient de fregament entre el paviment i les llantes de les rodes, augmentant així la distància de frenada com la carrera d'enlairament. L'espessa capa d'aigua pot generar el que es denomina com *aquaplaning*<sup>5</sup>, en aquestes condicions el coeficient de fregament es fa casi nul, inhabilitant així l'utilització dels frens i de la roda davantera per maniobrar.

Durant l'enlairament, la maniobrabilitat és menys exigent a terra i, al conèixer ja l'estat de la pista, es prohibeix realitzar l'enlairament d'empenta reduïda i es redueix el Maximum Take-off Weight (MTOW), d'aquesta manera, l'*aquaplaning* difícilment causa que l'aeronau se surti de la pista.

L'efecte de la pluja sobre l'aeronau disminueix amb l'altura tal i com s'observa en les altres dues fases. Durant l'ascens, l'aproximació inicial i final, es redueixen els percentatges a un 11%, a un 6,4% i a un 5,1% respectivament.

#### 4.1.4 Boira

La boira tendeix a disminuir la percepció del pilot sobre la pista, motiu pel que resulta especialment perillós durant la fase d'aproximació, essent la responsable del 26,1% dels incidents en aquesta fase, mentre que sobre la pista durant l'enlairament i aterratge, el percentatge es redueix fins al 12,1% i 11,4% respectivament. La fase més segura és la de l'ascens amb un 2,7%, seguida del descens amb un 7,2% de successos. Això es deu en gran part a que la boira acostuma a ser un núvol estratiforme prop de terra que, en poques ocasions, es desenvolupa verticalment.

#### 4.1.5 Icing

La probabilitat de que es produeixi gel a la superfície és realment baixa. Normalment es produeix en l'interior dels cúmuls i dels cumulonimbus. En les operacions d'aterratge, és el causant del 8,8% dels accidents. Motius com el bloqueig del tren d'aterratge o algunes superfícies de control de l'aeronau són les conseqüències de condicions *icing* en l'aeronau. No obstant, és el responsable del 13,3% d'accidents en l'enlairament degut al gelbre acumulat.

La probabilitat de que aquest fenomen meteorològic produeixi un accident disminueix amb

---

<sup>5</sup> És la situació en la que una aeronau circula per una pista a certa velocitat sobre una superfície coberta d'aigua, donant com a resultat una pèrdua de tracció i control de la mateixa per part del pilot. Si això succeís en la totalitat de les rodes, l'aeronau es torna incontrolable.

l'augment de l'altitud. Això és degut a que el pilot disposa de major temps de reacció per identificar el problema i recuperar l'aeronau. Normalment, el problema de molts pilots és identificar la presència de gel, especialment si es tracta de cristalls de gel, essent les tempestes durant l'aproximació inicial i final, amb un 9,7%, les causants d'aquests incidents. [10]

## 4.2 Influència de la meteorologia en la fase de creuer

La fase de creuer està considerada com la més segura des de que l'aeronau abandona la pista. L'aeronau acostuma a trobar-se a una altura de 10.000 m lluny de condicions meteorològiques adverses, on el pilot té un marge de maniobra molt gran davant de qualsevol complicació. Les causes d'aquests accidents acostumen a ser errors mecànics, errors humans, impactes amb altres aeronaus o amb zones muntanyoses. La taxa de mortalitat dels ocupants és del 21,9%, inferior a la de les fases comentades anteriorment, excepte en l'aterratge. Realment, es produeixen el 18,9% dels accidents aeris en aquesta fase, dels quals un 49,2%, sorgeix com a conseqüència de la distribució dels fenòmens meteorològics exposats.

Els paràmetres meteorològics com la visibilitat, boira i pluja són els responsables del 19,5% del total dels incidents per causes meteorològiques en les fases properes a terra. Les turbulències amb un 62,5%, les CAT amb un 12% i les tempestes amb un 5,2% són les variables meteorològiques que representen realment una amenaça durant la fase de creuer, no només per la seva intensitat, sinó que també per la dificultat de la seva detecció. [10]

## 5 Cas d'estudi: 07/10/1025

En aquesta secció es presenta un cas d'estudi sobre les conseqüències d'una bona predicció meteorològica realitzada amb el model de predicció numèrica del temps, WRF, sobre l'aeroport de Barcelona durant la fase d'aproximació final.

### 5.1 Simulació del model numèric WRF-ARW

Com s'ha vist en la Introducció, els models numèrics de predicció del temps són necessaris per tal de donar suport a la gestió tan del trànsit aeri com a la gestió de l'aeroport. En aquesta secció es fa un estudi d'una situació meteorològica adversa en la zona d'aproximació final de l'aeroport de Barcelona que va tenir lloc el 7 d'octubre de 2015. Durant la tarda d'aquest dia i, degut a una tempesta que va créixer sobre la recta d'aproximació final per la pista 25R, es va haver de canviar la rotació de circulació de les aeronaus per tal d'evitar la tempesta i, per tant, fer l'aproximació final per la pista 07L. A més, s'analitzen les sortides de la simulació meteorològica realitzada pel model numèric de predicció del temps Advanced Research Weather Research and Forecasting System (WRF-ARW)<sup>6</sup> i corregudes al Servei Meteorològic de Catalunya (SMC). La finalitat és demostrar com d'eficaç pot ser tenir un pronòstic meteorològic de qualitat darrera de la gestió aeronàutica per tal de minimitzar costos i guanyar en seguretat i eficiència.

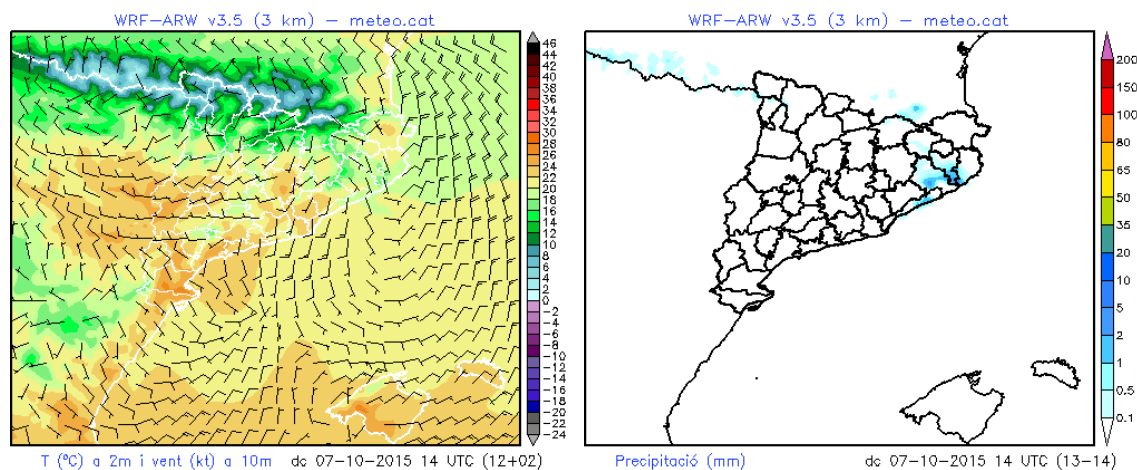
### 5.2 Pronòstic meteorològic i gestió en aproximació final a l'aeroport de Barcelona

El camp de vols de l'aeroport està format per tres pistes d'aterratge, dues de paral·leles (07L–25R / 07R–25L) i una de transversal (02–20). Les pistes paral·leles constantment estan ocupades però la pista transversal s'utilitza poc. El camp de vols de l'aeroport està dotat de moderns sistemes d'indicació per als avions i té capacitat per a qualsevol aeronau comercial existent.

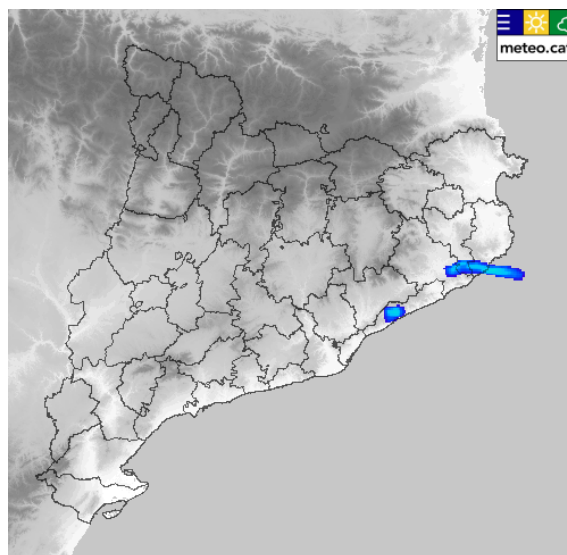
El dia 7 d'octubre les pistes operatives de l'aeroport eren la 07L–25R per a l'enlairament i aterratge respectivament. Les condicions meteorològiques del dia recomanaven l'utilització d'aquestes pistes. El pronòstic meteorològic del WRF-ARW mostrava la inexistència de precipitació durant el matí i vents de component SW per la zona de l'aeroport de Barcelona. Aquesta situació feia evident que la millor configuració de rotació de l'aeroport fos la utilització de les pistes 07L–25R. La Figura 7 mostra el pronòstic meteorològic del camp de vents, temperatura i precipitació per les 14 UTC (16 h local). La Figura 8 mostra la precipitació acumulada detectada pel radar meteorològic.

---

<sup>6</sup>El Weather Research and Forecasting Model (WRF) és un model numèric de pronòstic del temps, dissenyat per aplicacions operatives i de recerca. Un dels seus objectius és, precisament, accelerar la introducció dels avenços en recerca als processos operatius. Actualment, el WRF pot utilitzar-se un ampli rang d'escales, de manera que pot actuar com a model global o d'àrea limitada, permetent simulacions a molt alta resolució (<http://www.wrf-model.org/index.php>).

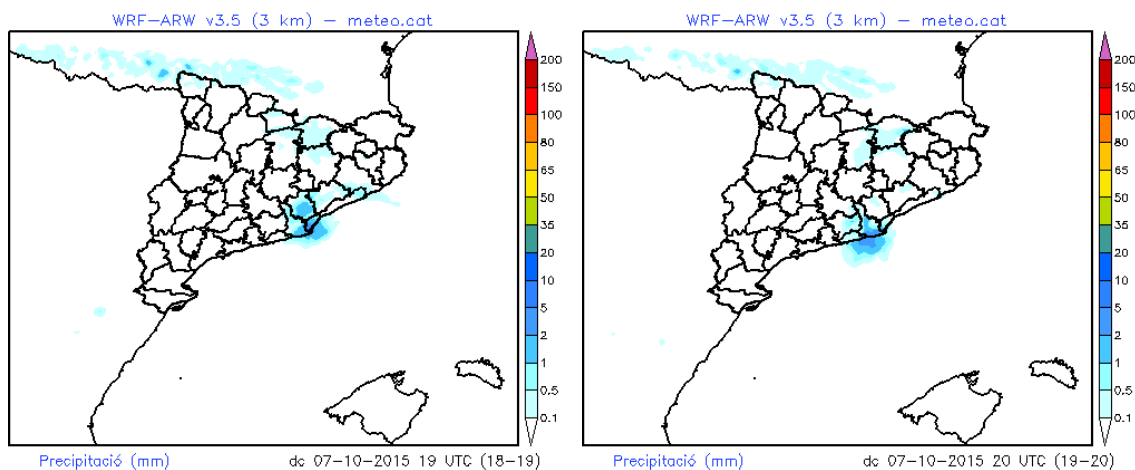


**Figura 7:** Pronòstic de la temperatura, vent i precipitació per les 14 UTC del 07/10/2015.

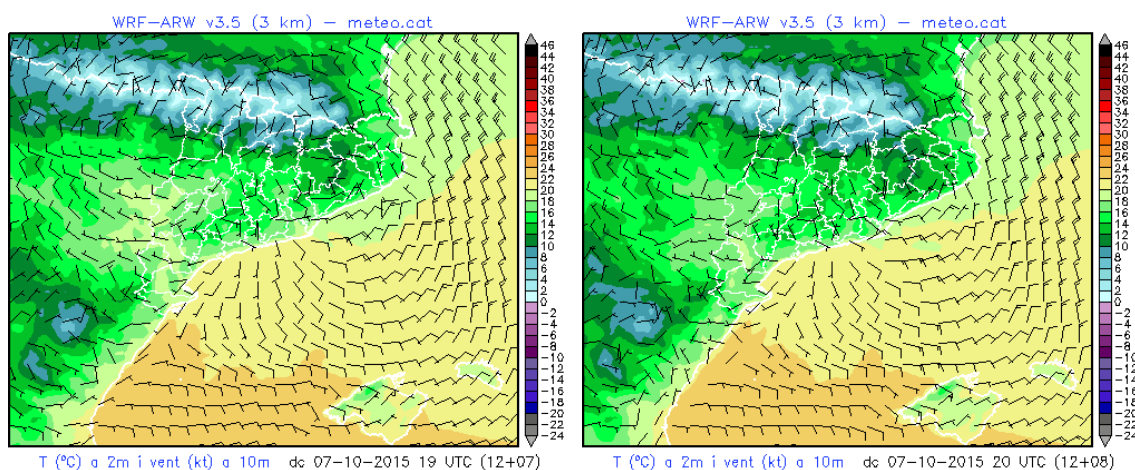


**Figura 8:** Precipitació acumulada detectada pel radar meteorològic per les 14 UTC del 07/10/2015.

A partir de les 15 UTC, a les comarques interiors de Catalunya es comencen a desenvolupar tempestes que, acaben arribant a Barcelona i rodalies. La Figura 9 mostra el pronòstic de la precipitació del model meteorològic WRF-ARW, on s'observa que a partir de les 18 UTC (20 h local) es pronosticaven precipitacions sobre la ciutat de Barcelona i sobre la recta d'aproximació final a la pista 25R. A més, la Figura 10 mostra que hi havia un pronòstic de rotació del vent de component SW a E a final del dia. Comparant el pronòstic amb el que realment succeïa a la zona de l'aeroport segons les imatges del radar meteorològic (Figura 11) de les 19 UTC (21 h local), es confirmava el bon pronòstic sobre la zona d'interès. (Més imatges a l'Annex B)



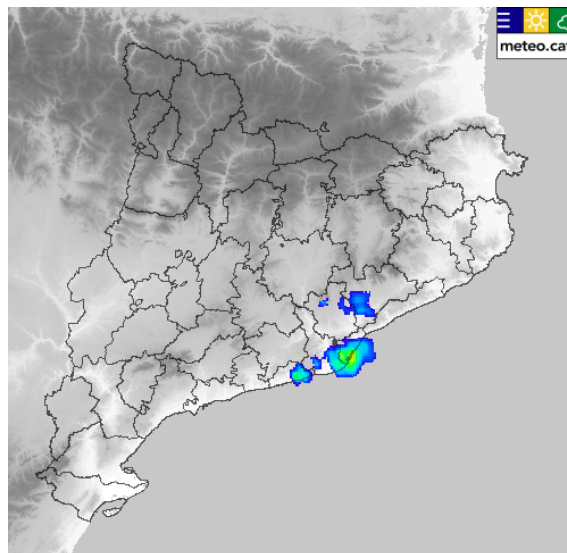
**Figura 9:** Pronòstic de la precipitació per les 19 UTC (esq.) i 20 UTC (dta.) del 07/10/2015.



**Figura 10:** Pronòstic del vent i temperatura per les 19 UTC (esq.) i 20 UTC (dta.) del 07/10/2015.

Aquesta situació va fer que l'aeroport de Barcelona tingués que canviar la rotació de circulació de les aeronaus per tal d'evitar la tempesta i, per tant, operar a les pistes 07R-25L. El canvi en la rotació de l'operativa de les pistes de l'aeroport de Barcelona es pot observar a la Figura 12 on es mostra les aeronaus en aproximació final a l'aeroport de Barcelona sobre les 18 UTC (20 h local) i les 19 UTC (21 h local) i es veu un canvi en les pistes operatives de 07L-25R a 07R-25L.





**Figura 11:** Precipitació acumulada detectada pel radar meteorològic per les 19 UTC del 07/10/2015.



**Figura 12:** Imatges de l'aproximació final a l'aeroport de Barcelona per les 18 UTC (esq.) i 19 UTC (dta.) del 7/10/2015. (Font: <http://www.flightradar24.com>)



## 6 Conclusions

L'objectiu del treball ha sigut estudiar la situació dels serveis meteorològics en el món de l'aviació així com demostrar la importància d'aquests per a una gestió aeronàutica segura i eficient.

Pel que fa al primer punt i, gràcies a la bibliografia consultada, s'ha vist que la prestació de serveis meteorològics a la navegació aèria s'exerceix seguint unes estrictes normes de caràcter tècnic-meteorològic imposades fonamentalment per OMM i l'ICAO, amb la finalitat de garantir estàndards a nivell internacional.

El segon punt i alhora el més extens ha tractat d'estudiar les variables meteorològiques més adverses per a una aeronau i les més determinants per a l'ATM. S'ha realitzat un cas d'estudi per tal de demostrar la importància d'un pronòstic meteorològic acurat en el camp de l'aviació. Aquest estudi ha tingut en compte el pronòstic meteorològic del model WRF pel 7 d'octubre de 2015 i realitzades al SMC. S'ha analitzat la gestió de les aeronaus en la fase d'aproximació final durant la tarda del dia en qüestió on les condicions meteorològiques eren adverses. Com s'ha pogut observar en l'estudi, una eina amb un pronòstic meteorològic de qualitat ajuda a la gestió de la presa de decisions.

No obstant, la gestió i control del trànsit aeri treballa amb diferents escales en funció del treball a ocupar. Atès les diferents resolucions espacials amb les que es poden arribar a treballar, és essencial tenir informació precisa de les condicions meteorològiques tan a escala sinòptica com a escales més petites.

La possibilitat de predir situacions meteorològiques adverses i/o extremes pot esdevenir una eina molt útil per poder anticipar-se a possibles problemàtiques i incidències que puguin afectar a la gestió i control del trànsit aeri i així tenir el temps necessari per a realitzar actuacions de planificació i gestió. Per aquest motiu, la predicció meteorològica es converteix en una peça clau a l'hora de prendre decisions que permetin un diagnòstic i les conseqüents accions preventives d'actuació per intentar evitar i mitigar, d'una forma ràpida i eficient, els possibles impactes generats per la dinàmica atmosfèrica. Per exemple, el pronòstic del camp de vent així com d'altres variables meteorològiques a diferents nivells de vol pot ajudar a trobar la ruta més adequada entre un origen i una destinació. Un bon pronòstic de precipitació amb origen convectiu pot localitzar cel·les convectives amb elevades velocitat verticals que podrien suposar un perill per a les aeronaus que es troben prop de la mateixa, tal i com s'ha pogut observar en el cas d'estudi realitzat. La predicció de la severitat de turbulències i de gel suposen una gran ajuda a l'hora de planificar la ruta de vol per localitzar punts a evitar, etc.

La informació meteorològica amb la que es treballa en el món de l'aeronàutica és millorable? És possible poder obtenir informació de qualitat sobre les condicions meteorològiques d'un aeroport amb un informe de TAF? Ens hem parat a analitzar quin tipus d'informació proporciona un informe TAF?

Exemple TAF:

TAF LEBL 141100Z 1412/1512 19006KT CAVOK TX21/1414Z TN10/1506Z BECMG 1420/1422 33010KT SCT010 PROB30 TEMPO 1504/1512 BCFG SCT005

Aquest informe proporciona certa informació meteorològica, però molt millorable. És pràctic, llegible, alarmant, capaç de cridar l'atenció per tal d'anticipar-se a condicions meteorològiques adverses? Al meu parer, no. És per això que considero que el servei meteorològic a l'aeronàutica és francament millorable.

Amb tot el comentat anteriorment, és d'importància considerar que l'ATM disposi d'un servei meteorològic de qualitat en totes les seves resolucions horitzontals per tal d'aportar solucions a tots els usuaris finals. És a dir, a gran escala (escala sinòptica), és interessant pels pilots i controladors saber quines àrees o zones geogràfiques estaran afectades per turbulències com, per exemple, les que es formen a la cara sud dels Pirineus quan bufa tramuntana. També seria interessant, per exemple, saber fins a quina altura o FL es veurien afectades les aeronaus i, per tant, a quina altura haurien de volar per evitar-les. A una escala inferior (mesoescala), mapes actualitzats de la convecció al voltant d'un aeroport com el de Barcelona on es poguessin arribar a veure les conseqüències de la orografia local (muntanyes de Begues, etc.), de la radiació solar i la seva absorció pel tipus de sòl, etc. Finalment i a escala més petita (microescala), seria interessant obtenir la predicció de turbulències en la zona d'aproximació.

## Referències

- [1] Yihua Cao, Zhenlong Wu, and Zhengyu Xu. Effects of rainfall on aircraft aerodynamics. *Progress in Aerospace Sciences*, 71:85–127, 2014.
- [2] C Cassardo. THE ROLE OF METEOROLOGICAL MODELS IN THE PREDICTION OF WEATHER HAZARDS - THE EUROPEAN APPROACH. In J A A Jones, T G Vardanian, and C Hakopian, editors, *Threats to Global Water Security*, pages 265–276. 2009.
- [3] U S De, M Khole, and M M Dandekar. Natural hazards associated with meteorological extreme events. *Natural Hazards*, 31(2):487–497, 2004.
- [4] Olivier Dessens, Marcus O. Köhler, Helen L. Rogers, Rod L. Jones, and John a. Pyle. Aviation and climate change. *Transport Policy*, 34:14–20, 2014.
- [5] Judy E. Ghirardelli and Bob Glahn. The Meteorological Development Laboratory's Aviation Weather Prediction System. *Weather and Forecasting*, 25(4):1027–1051, 2010.
- [6] Erik Haas. Aeronautical channel modeling. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 51(2):254–264, 2002.
- [7] James R. Holton. *An Introduction to Dynamic Meteorology*, volume 41. 1973.
- [8] G Li, S P Baker, J G Grabowski, and G W Rebok. Factors associated with pilot error in aviation crashes. *Aviation Space and Environmental Medicine*, 72(1):52–58, 2001.
- [9] John R. Mecikalski, Wayne F. Feltz, John J. Murray, David B. Johnson, Kristopher M. Bedka, Sarah T. Bedka, Anthony J. Wimmers, Michael Pavolonis, Todd a. Berendes, Julie Haggerty, Pat Minnis, Ben Bernstein, and Earle Williams. Aviation applications for satellite-based observations of cloud properties, convection initiation, in-flight icing, turbulence, and volcanic ash. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 88(May):1589–1607, 2007.
- [10] David O'Hare and Neil Stenhouse. Under the weather: an evaluation of different modes of presenting meteorological information for pilots. *Applied ergonomics*, 40(4):688–93, 2009.
- [11] Peter J. Pronovost, Christine a. Goeschel, Kyle L. Olsen, Julius C. Pham, Marlene R. Miller, Sean M. Berenholtz, J. Bryan Sexton, Jill a. Marsteller, Laura L. Morlock, Albert W. Wu, Jerod M. Loeb, and Carolyn M. Clancy. Reducing health care hazards: Lessons from the Commercial Aviation Safety Team. *Health Affairs*, 28(3):479–489, 2009.
- [12] Azadeh Ramesh, Christopher Conrad, Birgit Mannig, and Frank Schrader. Hydro-Meteorological Hazards Assessment Based Upon Climate Change Considerations in Isfara Basin. *Geophysical Research Abstracts*, 15(EGU2013-13472-2), 2013.
- [13] Lilly Spirkovska and Suresh K. Lodha. AWE: Aviation weather data visualization environment. *Computers and Graphics (Pergamon)*, 26(1):169–191, 2002.
- [14] R B Stull. An Introduction to Boundary Layer Meteorology. *Book*, 13:666, 1988.

## A Productes MET d'acord l'Annex 3 d'ICAO

### METAR

MET product required by ICAO Annex 3	METAR
Description	METAR shall contain the information due to actual condition of meteorological elements.
Type (forecast (F), current weather (C), regular (R) and irregular (I-R))	C(R)
Working system/ method and/or source	Automated weather observation system on each aerodrome (AWOS)
Timeframe/Validity	Every 30 min or 1 h and shall be disseminated to international OPMET data banks and to other aerodromes in accordance with regional air navigation agreement.
Update rate	30 min or 1 h
Used by ATC	Yes, shall be transmitted to (and used by) local ATS units and be available to operators and users at the aerodrome
Used by pilots	Yes, for pre- flight planning information
GEO use (global, USA, EU, other)	Global
Probability	N/A
Other information	METAR is a part of information in VOLMET and D VOLMET

## SPECI

MET product required by ICAO Annex 3		SPECI									
Description		SPECI shall contain the information due to actual condition and reaching special limitations for one or more meteorological elements.									
Type (forecast (F), current weather(C), regular (R) and irregular (I-R))		C(I-R)									
Working system/ method and/or source		Automated weather observation on each aerodrome system (AWOS).									
Timeframe/Validity		When special meteorological conditions occur. Reference: Annex 3 ICAO Appendix 3. Technical specifications related to meteorological observations and reports, 2.3.Criteria for issuance of SPECI	<u>Wind</u> SPECI should be issued whenever changes in accordance with the following criteria occur: a) when the mean surface wind direction has changed by 60° or more from that given in the latest report, the mean speed before and/or after the change being 20 km/h (10 kt) or more; b) when the mean surface wind speed has changed by 20 km/h (10 kt) or more from that given in the latest report; c) when the variation from the mean surface wind speed (gusts) has increased by 20 km/h (10 kt) or more from that given in the latest report, the mean speed before and/or after the change being 30 km/h (15 kt) or more; d) when the wind changes through values of operational significance. The threshold values should be established by	<u>Visibility</u> SPECI should be issued whenever changes in accordance with the following criteria occur: when the visibility is improving and changes to or passes through one or more of the following values, or when the visibility is deteriorating and passes through one or more of the following values:  1) 800, 1 500 or 3 000 m; and	<u>Runway visual range</u> SPECI should be issued whenever changes in accordance with the following criteria occur: when the runway visual range is improving and changes to or passes through one or more of the following values, or when the runway visual range is deteriorating and passes through one or more of the following values: 150, 350, 600 or 800 m;	<u>Present weather</u> SPECI should be issued whenever changes in accordance with the following criteria occur: when the onset, cessation or change in intensity of any of the following weather phenomena or combinations thereof occurs: freezing precipitation — moderate or heavy precipitation (including showers thereof) — duststorm — sandstorm; h) when the onset or cessation of any of the following weather phenomena or combinations	<u>Cloud base</u> SPECI should be issued whenever changes in accordance with the following criteria occur: when the height of base of the lowest cloud layer of BKN or OVC extent is lifting and changes to or passes through one or more of the following values, or when the height of base of the lowest cloud layer of BKN or OVC extent is lowering and passes through one or more of the following values: 1) 30, 60, 150 or 300 m (100, 200, 500 or 1 000 ft); and 2) 450 m (1 500 ft), in cases where	<u>Cloud amount</u> SPECI should be issued whenever changes in accordance with the following criteria occur: when the amount of a cloud layer below 450 m (1 500 ft) changes: 1) from SKC, FEW or SCT to BKN or OVC; or 2) from BKN or OVC to SKC, FEW or SCT; k) when the sky is obscured and the vertical visibility is improving and changes to or passes through one or more of the following	SNOWT AM		

	the meteorological authority in consultation with the appropriate ATS authority and operators concerned, taking into account changes in the wind which would: 1) require a change in runway(s) in use; and 2) indicate that the runway tailwind and crosswind components have changed through values representing the main operating limits for typical aircraft operating at the aerodrome;	2) 5 000 m, in cases where significant numbers of flights are operated in accordance with the visual flight rules;		thereof occurs:  — ice crystals — freezing fog — low drifting dust, sand or snow — blowing dust, sand or snow — thunderstorm (with or without precipitation) — squall — funnel cloud (tornado or waterspout);	significant numbers of flights are operated in accordance with the visual flight rules;	values, or when the vertical visibility is deteriorating and passes through one or more of the following values: 30, 60, 150 or 300 m (100, 200, 500 or 1 000 ft); and 1) any other criteria based on local aerodrome operating minima, as agreed between the meteorological authority and the operators		
<b>Update rate</b>	When special meteorological conditions mention above occur.							
<b>Used by ATC</b>	Yes, shall be transmitted to (and used by) local ATS units and be available to operators and users at the aerodrome as operational meteorological information..							
<b>Used by pilots</b>	Yes, for pre-flight information for departure aerodrome when weather condition has changed.							
<b>GEO use (global, USA, EU, other)</b>	Global.							
<b>Probability</b>	N/A							
<b>Other information</b>	SPECI issue in case of special meteorological condition and limitation. According Annex 3 SPECI shall be disseminated for aerodromes where METAR disseminated with frequency of 1 h or as it is defined in ANP							

## Local routine (MET report)

MET product required by ICAO Annex 3	Local routine (MET report)
<b>Description</b>	Local routine shall contain the information due to actual condition of meteorological elements. The difference between METAR and local report are defined by average period of meteorological elements. (2min for LOCAL and 10 min for METAR).
<b>Type</b> (forecast (F), current weather(C), regular (R) and irregular (I-R))	C(R)
<b>Working system/ method and/or source</b>	Automated weather observation on each aerodrome system (AWOS).
<b>Timeframe/Validity</b>	Every 30 min or 1 h and shall be disseminated to ATS, operators and users at the aerodrome
<b>Update rate</b>	Every 30 min.
<b>Used by ATC</b>	Yes, shall be transmitted to (and used by) local ATS units.
<b>Used by pilots</b>	Yes, shall be transmitted and be available to operators and users at the aerodrome by ATIS.
<b>GEO use</b> (global, USA, EU, other)	Global
<b>Probability</b>	N/A
<b>Other information</b>	Local reports, only for dissemination at the aerodrome of origin intended for arriving and departing aircraft and it is broadcasted by ATIS.

## Special reports

MET product required by ICAO Annex 3	Special reports	
Description	SPECIAL shall contain the information due to actual condition and reaching special limitations for one or more meteorological elements. The difference between SPECI and special report are defined by average period of meteorological elements. (2min for Special and 10 min for SPECI).	
Type (forecast (F), current weather(C), regular (R) and irregular (I-R))	C(I-R)	
Working system/ method and/or source	Automated weather observation on each aerodrome system (AWOS).	
Timeframe/Validity	When special meteorological conditions occur. There is a possibility to add more than specified conditions for meteorological elements as they defined in Annex 3 ICAO. These possibility are recognized and defined by local agreements b/n MET and ATS and usually are connected more and less to operational minimums for aerodromes	<u>The list of criteria for the issuance of local special reports shall include the following:</u> a) those values which most closely correspond with the operating minima of the operators using the aerodrome; b) those values which satisfy other local requirements of the air traffic services units and of the operators; c) an increase in air temperature of 2°C or more from that given in the latest report, or an alternative threshold value as agreed between the meteorological authority, the appropriate ATS authority and the operators concerned; d) the available supplementary information concerning the occurrence of significant meteorological conditions in the approach and climb-out areas as given in Table A3-1 of Annex 3; and e) those values which constitute criteria for SPECI. (please see table.1.2)
Update rate	When special meteorological conditions mention above occur	
Used by ATC	Yes, shall be transmitted to (and used by) local ATS units and be available to operators and users at the aerodrome.	
Used by pilots	Yes, by ATIS	
CEO use (global, USA, EU, other)	Global	
Probability	N/A	
Other information	Local special reports, only for dissemination at the aerodrome of origin (intended for arriving and departing aircraft) and it is broadcasted by ATIS.  Difference b/n two types - SPECI and SPECIAL are in average period. In general for SPECI average period for meteorological elements are 10 min; for SPECIAL are 2 min.	



## Aerodrome forecast (TAF)

MET product required by ICAO Annex 3	AERODROME FORECAST (TAF)	
Description	Aerodrome forecasts and amendments shall be issued as TAF <sup>6</sup> and include the information of forecasting value of meteorological elements representing weather condition on airport and expected significant changes to one or more of these elements during the period of validity.	
Type (forecast (F), current weather(C), regular (R) and irregular (I-R))	F	
Working system/ method and/or source	NWPM Numerical Weather Prediction Models – Mesoscale model with resolution on approximately 3x3km.	
Timeframe/Validity	The period of validity of a routine TAF should be not less than 12 hours nor more than 24/30hours 12h/24h/30h	
Update rate	3h/6h/6h	<p><u>Clarification:</u> TAF is means the Terminal Aerodrome Forecast. The period of validity of a routine TAF should be not less than 12 hours nor more than 30 hours; this period should be determined by regional air navigation agreement. Routine TAF valid 12 hours should be issued every 3 hours and those valid for 24 or 30 hours should be issued every 6 hours. The requirements for TAF for each country and aerodrome are defined in Doc 7754.</p> <p>Reference: DOC 7754; EUR ANP, Part VI — Meteorology (MET)</p>
Used by ATC	Yes, as additional information for aerodrome.	
Used by pilots	Yes, pre-flight planning information.	
GEO use (global, USA, EU, other)	Global.	
Probability	<p>There is possibility for using of probability of 30% and 40%.</p> <p>A probability of an alternative value or change of less than 30 per cent should not be considered sufficiently.</p> <p>A probability of an alternative value or change of 50 per cent or more, for aviation purposes, should not be considered as probability but instead should be indicated, as necessary, by use of the change indicators “BECMG” or “TEMPO”, significant to be indicated. A probability of an alternative value or change of 50 per cent or more, for</p>	

	aviation purposes, should not be considered a probability.
Other information	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. An aerodrome forecast shall be issued at a specified time and consist of a concise statement of the expected meteorological conditions at an aerodrome for a specified period.</li> <li>2. Aerodrome forecast amendments shall be issued as TAF – AAA, AAB and etc.</li> </ol>

### Landing forecast (TREND)


MET product required by ICAO Annex 3	LANDING FORECAST (TREND)
Description	Aerodrome forecasts for landing issued by special limitations of meteorological elements.
Type (forecast (F), current weather(C), regular (R) and irregular (I-R))	F (R)
Working system/ method and/or source	NWPM Numerical weather prediction models – Mesoscale model with resolution on approximately 3x3km.
Timeframe/Validity	The period of validity of should be not less than 2 hours.
Update rate	If necessary every 30 minutes.
Used by ATC	Yes, as a part of LOCAL/SPECIAL ROUTINE (MET REPORT).
Used by pilots	Yes, pre-flight planning information.
GEO use (global, USA, EU, other)	Global.
Probability	N/A
Other information	LANDING FORECAST (TREND) is part of METAR and LOCAL/SPECIAL ROUTINE (MET report).

## Forecasts for take-off

MET product required by ICAO Annex 3	FORECASTS FOR TAKE-OFF
Description	FORECASTS FOR TAKE-OFF should refer to a specified period of time and should contain information on expected conditions over the runway complex in regard to surface wind direction and speed and any variations thereof, temperature, pressure (QNH), and any other elements as agreed locally.
Type (forecast (F), current weather(C), regular (R) and irregular (I-R))	F (R)
Working system/ method and/or source	NWPM Numerical weather prediction models – Mesoscale model with resolution on approximately 3x3km.
Timeframe/Validity	The period of validity of should be not less than 2 hours.
Update rate	A forecast for take-off should be supplied to operators on request within the 3 hours before the expected time of departure.
Used by ATC	N/A
Used by pilots	A forecast for take-off should be supplied to operators and flight crew members on request within the 3 hours before the expected time of departure.
GEO use (global, USA, EU, other)	Global.
Probability	N/A
Other information	NOTE: Entirely LANDING FORECAST is part of METAR and LOCAL/SPECIAL ROUTINE (MET report).

## GAMET AREA FORECAST

MET product required by ICAO Annex 3	GAMET AREA FORECAST	
<p><b>Description</b></p>	<p>GAMET AREA FORECAST shall be prepared in two different ways:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• abbreviated plain language;</li> <li>• when chart form is used, the forecast shall be prepared as a combination of forecasts of upper wind and upper-air temperature, and of SIGWX. The phenomena cover the layer between the ground and flight level 100 (or up to flight level 150 in mountainous areas, or higher, where necessary) and d shall contain information on en-route weather phenomena hazardous to low-level flights.</li> </ul> <p>When prepared in GAMET format, area forecasts shall contain two sections: Section I related to information on en-route weather phenomena hazardous to low-level flights, prepared in support of the issuance of AIRMET information, and Section II related to additional information required by low-level flights. Additional elements in Section II shall be included in accordance with regional air navigation agreement. Elements which are already covered by a SIGMET message shall be omitted from GAMET area forecasts.</p>	<p><b>Example 1: GAMET abbreviated plain language</b>  YUCC GAMET VALID 220600/221200 YUDO  YUCC AMSWELL FIR/2 BLW FL100  SECN I  SFC WSPD: 10/12 65 KMH  SFC VIS: 06/08 3000 M BR N OF N51  SIGWX: 11/12 ISOL TS  SIG CLD: 06/09 OVC 800/1100 FT AGL N OF N51  10/12 ISOL TCU 1200/8000 FT AGL  ICE: MOD FL050/080  TURB: MOD ABV FL090  SIGMETS APPLICABLE: 3, 5  SECN II  PSYS: 06 L 1004 HPA N5130 E01000 MOV NE 25  KT WKN  WIND/T: 2000 FT 270/70 KMH PS03 5000 FT  250/80 KMH MS02 10000 FT 240/85 KMH MS11  CLD: BKN SC 2500/8000 FT AGL  FZLVL: 3000 FT AGL  MNM QNH: 1004 HPA  SEA: T15 HGT 5M  VA: NIL</p>
<p><b>Type</b> (forecast (F), current weather (C), regular (R) and irregular (I-R))</p>	<p>F (R)</p>	<p><b>Meaning:</b>  An area forecast for low-level flights (GAMET) issued for sub-area two of the Amswell* flight information region (identified by YUCC Amswell area control centre) for below flight level 100 by the Donlon/International* meteorological office (YUDO); the message is valid from 0600 UTC to 1200 UTC on the 22nd of the month.</p> <p><b>Section I:</b>  surface wind speeds: between 1000 UTC and 1200 UTC 65 kilometres per hour; surface visibility: between 0600 UTC and 0800 UTC 3 000 metres north of 51 degrees north (due to mist); significant weather phenomena: between 1100 UTC and 1200 UTC isolated thunderstorms without hail; significant clouds: between 0600 UTC and 0900 UTC overcast base 800, top 1 100 feet above ground level north of 51 degrees north; between 1000 UTC and 1200 UTC isolated towering cumulus base 1 200, top 8 000 feet above ground level; icing: moderate between flight level 050 and 080; turbulence: moderate above flight</p>

		<p>level 090 (at least up to flight level 100); SIGMET messages: 3 and 5 applicable to the validity period and sub-area concerned.</p> <p><b>Section II:</b> pressure systems: at 0600 UTC low pressure of 1 004 hectopascals at 51.5 degrees north 10.0 degrees east, expected to move north-eastwards at 25 knots and to weaken; winds and temperatures: at 2 000 feet above ground level wind direction 270 degrees; wind speed 70 kilometres per hour, temperature plus 3 degrees Celsius; at 5000 feet above ground level wind direction 250 degrees; wind speed 80 kilometres per hour, temperature minus 2 degrees Celsius; at 10 000 feet above ground level wind direction 240 degrees; wind speed 85 kilometres per hour, temperature minus 11 degrees Celsius; clouds: broken stratocumulus, base 2 500 feet, top 8 000 feet above ground level; freezing level: 3 000 feet above ground level; minimum QNH: 1 004 hectopascals; sea: surface temperature 15 degrees Celsius; and state of sea 5 metres; volcanic ash: nil.</p>
Working system/ method and/or source	NWPM Numerical weather prediction models – Mesoscale model with resolution on 3x3km.	<b>Example 2: GAMET chart form</b>
Timeframe/Validity	<p>When chart form is used for area forecasts for low-level flights, the forecast of upper wind and upper-air temperature shall be issued for points separated by no more than 500 km (300 NM) and for at least the following altitudes: 600, 1 500 and 3 000 m (2 000, 5 000 and 10 000 ft), and 4 500 m (15 000 ft) in mountainous areas.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>When chart form is used for area forecasts for low-level flights, the forecast of SIGWX phenomena shall be issued as low-level SIGWX forecast for flight levels up to 100 (or up to flight level 150 in mountainous areas, or higher, where necessary). Low-level SIGWX forecasts shall include the following items: <ol style="list-style-type: none"> <li>the phenomena warranting the issuance of a SIGMET as given in Appendix 6 and which are expected to affect low-level flights; and</li> <li>the elements in area forecasts for low-level flights as given in Table A5-4 except elements concerning: <ol style="list-style-type: none"> <li>upper winds and temperatures; and</li> </ol> </li> </ol> </li> <li>forecast QNH.</li> </ol>	<p>Please see example 1</p> 

<b>Update rate</b>	Every 6 h	
<b>Used by ATC</b>	N/A	
<b>Used by pilots</b>	Area forecast addressed to pilots from GA and VFR	
<b>GEO use (global, USA, EU, other)</b>	Globally, in respect of two type as mention above. Some countries use the first one format, another the second one.	
<b>Probability</b>	N/A	
<b>Other information</b>	Area forecasts for low-level flights GAMET prepared in support of the issuance of AIRMET information or significant weather and conditions below flight level 100 (or up to flight level 150 in mountainous areas, or higher, where necessary).	

## SIGMET

MET product required by ICAO Annex 3	SIGMET	
Description	SIGMET information shall be issued by a meteorological watch office and shall give a concise description in abbreviated plain language concerning the occurrence and/or expected occurrence of specified en-route weather phenomena, which may affect the safety of aircraft operations, and of the development of those phenomena in time and space.	
Type (forecast (F), current weather (C), regular (R) and irregular (I-R))	F	
Working system/ method and/or source	NWPM Numerical weather prediction models: 1. Global and regional model with resolution on approximately 25x25km. 2. Mesoscale model with resolution on approximately 3x3km.	
Timeframe/ Validity	1. The period of validity of SIGMET should be not less than 4 hours. 2. SIGMET messages for volcanic ash and tropical cyclones shall be updated at least every 6 hours.	
Update rate	If it need every 4 hours	
Used by ATC	Yes, SIGMET should be supplied to ATC for support en-route planning and operations; Coordination shall be maintained between the meteorological watch office and the associated area control centre/flight information centre to ensure that information on volcanic ash included in SIGMET and NOTAM messages is consistent	<b>Clarification:</b> There is special procedure in case of volcanic ash. MET prepared SIGMET based of information disseminate from VAAC. The next step based on SIGMET and affected areas, AIS disseminated NOTAM regarding information above. Those two types of messages are obligatory in case of presence of volcanic ash. <i>REMARK: NOTAM is in responsibility of AIS not MET.</i>
Used by pilots	Yes, for pre-flight planning information.	
CEO use (global, USA, EU, other)	Global.	
Probability	N/A	
Other information	1. SIGMET messages concerning volcanic ash cloud and tropical cyclones should be based on advisory information provided by VAACs and TCACs. 2. SIGMET information shall be cancelled when the phenomena are no longer occurring or are no longer expected to occur in the area.	

## AIRMET'

MET product required by ICAO Annex 3	AIRMET	
Description	AIRMET information shall be issued by a meteorological watch office in accordance with regional air navigation agreement, below flight level 100(or up to flight level 150 in mountainous areas, or higher, where necessary). AIRMET information shall give a concise description in abbreviated plain language concerning the occurrence and/or expected occurrence of specified en-route weather phenomena, which may affect the safety of low-level flights, and of the development of those phenomena in time and space.	YUCC AIRMET 2 VALID 221215/221600 YUDO YUCC AMSWELL FIR MOD MTW OBS AT 1205Z AND FCST N48 E10 FL080 STNR NC
Type (forecast (F), current weather(C), regular (R) and irregular (I-R))	F (I-R)	<u>Meaning:</u> The second AIRMET message issued for the AMSWELL flight information region (identified by YUCC Amswell area control centre) by the Donlon/International* meteorological watch office (YUDO) since 0001 UTC; the message is valid from 1215 UTC to 1600 UTC on the 22nd of the month; moderate mountain wave was observed at 1205 UTC at 48 degrees north and 10 degrees east at flight level 080; the mountain wave is expected to remain stationary and not to undergo any changes in intensity
Working system/ method and/or source	NWPM Numerical weather prediction models: 1. Global and regional model with resolution on approximately 25x25km. 2. Mesoscale model with resolution on approximately 3x3km.	
Timeframe/Validity	The period of validity of an AIRMET message shall be not more than 4 hours.	
Update rate	If it needed.	
Used by ATC	N/A	
Used by pilots	Yes, AIRMET is used for flight planning and in-flight monitoring	
CEO use (global, USA, EU, other)	Locally	



Probability	N/A	
Other information	<p>AIRMET information shall be disseminated only for one specified en-route weather phenomena. If there is more than one, AIRMET for each should be issued.</p> <p>AIRMET information shall be cancelled when the phenomena are no longer occurring or are no longer expected to occur in the area.</p> <p>SIGMET and AIRMET are warning information, hence they are of highest priority among other types of OPMET information provided to aviation users. The primary purpose of SIGMET and AIRMET is for in-flight service, which requires timely transmission of the SIGMET and, where available, AIRMET messages to pilots by the ATS units and/or through VOLMET and D-VOLMET.</p>	<p><b>Clarification</b> As mention in 1.8 GAMET is a forecast refers to area forecast for low flight levels addressed to General aviation.</p> <p>AIRMET is form of warnings (as SIGMET for IFR) due to significant weather events affecting VFR.</p>

## AERODROME WARNINGS

MET product required by ICAO Annex 3	AERODROME WARNINGS
Description	Aerodrome warnings shall be issued by the meteorological office and shall give concise information of meteorological conditions which could adversely affect aircraft on the ground, including parked aircraft, and the aerodrome facilities and services.
Type (forecast (F), current weather(C), regular (R) and irregular (I-R))	F (I-R)
Working system/ method and/or source	NWPM Numerical weather prediction models: 1. Global and regional model with resolution on approximately 25x25km. 2. Mesoscale model with resolution approximately 3x3km.
Timeframe/Validity	If special meteorological condition might occur.
Update rate	If it needed.
Used by ATC	Aerodrome warnings should be disseminated to ATC as additional information regarding special meteorological condition and expected effect of taxis.
Used by pilots	Aerodrome warnings should be disseminated to operators and local aerodrome services.
GEO use (global, USA, EU, other)	Global
Probability	N/A
Other information	Aerodrome warnings are in base of A-CDM especially in USA regarding pre-flight information and future planning of all activities at airports. Aerodrome warnings should be cancelled when the conditions are no longer occurring and/or no longer expected to occur at the aerodrome.

## WIND SHEAR WARNINGS AND ALERTS

MET product required by ICAO Annex 3	WIND SHEAR WARNINGS AND ALERTS
<b>Description</b>	Wind shear warnings shall be prepared by the meteorological office for aerodromes where wind shear is considered a factor, in accordance with local arrangements with the appropriate ATS unit and operators concerned. Wind shear warnings shall give concise information on the observed or expected existence of wind shear which could adversely affect aircraft on the approach path or take-off path or during circling approach between runway level and 500 m (1 600 ft) above that level and aircraft on the runway during the landing roll or take-off run. Where local topography has been shown to produce significant wind shears at heights in excess of 500 m (1 600 ft) above runway level, then 500 m (1 600 ft) shall not be considered restrictive.
<b>Type</b> (forecast (F), current weather(C), regular (R) and irregular (I-R))	F (I-R)
<b>Working system/ method and/or source</b>	NWPM Numerical weather prediction models: 1. Global and regional model with resolution on approximately 25x25km. 2. Meso-scale model with resolution on approximately 3x3km
<b>Timeframe/Validity</b>	If special meteorological condition as wind shear might occur. There is a possibility to include and disseminate alerts based on air/special reports from pilots. There is different automated system for earlier warning as following: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Low level wind shear warning system;</li> <li>• LIDAR;</li> <li>• Doppler Radar.</li> </ul>
<b>Update rate</b>	If it needed.
<b>Used by ATC</b>	Wind shear warnings shall be prepared for aerodromes where wind shear is considered a factor, in accordance with local arrangements with the appropriate ATS unit.
<b>Used by pilots</b>	Wind shear warnings shall be prepared for aerodromes where wind shear is considered a factor, in accordance with local arrangements with the appropriate operators concerned.
<b>GEO use</b> (global, USA, EU, other)	Locally, depend of geographical features on airport and orography.
<b>Probability</b>	N/A
<b>Other information</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Wind shear warnings and alerts is a part of METAR and LOCAL/SPECIAL ROUTINE (MET report) ad broadcast to users by ATIS and VOLMET.</li> <li>2. Wind shear warnings for arriving aircraft and/or departing aircraft should be cancelled when aircraft reports indicate that wind shear no longer exists.</li> </ol>

## UPPER-AIR FORECASTS

MET product required by ICAO Annex 3	UPPER-AIR FORECASTS
Description	The forecasts of upper wind; upper-air temperature; and humidity; direction, speed and flight level of maximum wind; flight level and temperature of tropopause, and geopotential altitude of flight levels shall be prepared four times a day by a WAFC and shall be valid for fixed valid times at 6, 12, 18, 24, 30 and 36 hours after the time (0000, 0600, 1200 and 1800 UTC) of the synoptic data on which the forecasts were based.
Type (forecast (F), current weather(C), regular (R) and irregular (I-R))	F (I-R)
Working system/ method and/or source	WORLD AREA FORECAST SYSTEM
Timeframe/Validity	00 h/06 h/12 h/18 h/(time in UTC)
Update rate	If it needed.
Used by ATC	Yes, for ACC regarding areas with strong winds and jet streams
Used by pilots	Yes, regarding areas with strong winds and jet streams
GEO use (global, USA, EU, other)	Globally
Probability	N/A
Other information	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. The foregoing grid point forecasts shall be issued by a WAFC in binary code form using the GRIB code form prescribed by WMO.</li> <li>2. The foregoing grid point forecasts shall be prepared by a WAFC in a fixed grid with a horizontal resolution of 140 km.</li> </ol> <p>Note.— 140 km represents a distance of about 1.25° of latitude.</p>

## SIGNIFICANT WEATHER (SIGWX) FORECASTS

MET product required by ICAO Annex 3	SIGNIFICANT WEATHER (SIGWX) FORECASTS
Description	Significant weather forecast charts shall be prepared four times a day by a WAFC and shall be valid for fixed valid times at 6, 12, 18, 24, 30 and 36 hours after the time (0000, 0600, 1200 and 1800 UTC) of the synoptic data on which the forecasts were based. Significant en-route weather phenomena directly affect to plane on different flight levels.
Type (forecast (F), current weather(C), regular (R) and irregular (I-R))	F (R)
Working system/ method and/or source	<p><b>WORLD AREA FORECAST SYSTEM</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Types of SIGWX forecasts SIGWX forecasts shall be issued as: <ul style="list-style-type: none"> <li>a) high-level SIGWX forecasts for flight levels between 250 and 630; and</li> <li>b) medium-level SIGWX forecasts for flight levels between 100 and 250 for limited geographical areas, as determined by regional air navigation agreement.</li> </ul> </li> <li>Items included in SIGWX forecasts.</li> </ul> <p>High-level and medium-level SIGWX forecasts shall include the following items:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a) tropical cyclone provided that the maximum of the 10-minute mean surface wind speed is expected to reach or exceed 63 km/h (34 KT);</li> <li>b) severe squall lines;</li> <li>c) moderate or severe turbulence (in cloud or clear air);</li> <li>d) moderate or severe icing;</li> <li>e) widespread sandstorm/duststorm;</li> <li>f) cumulonimbus clouds associated with thunderstorms and with a) to e);</li> <li>g) flight level of tropopause;</li> <li>h) jet streams;</li> <li>i) information on the location of volcanic eruptions that are producing ash clouds of significance to aircraft operations comprising: volcanic eruption symbol at the location of the volcano and, at the side of the chart, the volcano eruption symbol, the name of the volcano, latitude/longitude, the date and time of first eruption, if known, and a reference to SIGMET and NOTAM or ASHTAM issued for the area concerned; and</li> <li>j) information on the location of an accidental release of radioactive materials into the atmosphere, of significance to aircraft operations, comprising: the radioactivity symbol at the site of the accident and, at the side of the chart, the radioactivity symbol, latitude/longitude of the site of the accident, date and time of the accident and a reminder to users to check NOTAM for the area concerned.</li> </ul>
Timeframe/Validity	Forecasts of significant en-route weather phenomena shall be prepared as SIGWX forecasts four times a day by a WAFC and shall be valid for fixed valid times at 24 hours after the time (0000, 0600, 1200 and 1800 UTC) of the synoptic data on which the forecasts were based.
Update rate	The dissemination of each forecast charts shall be completed as soon as technically feasible but not later than 11 hours after standard time of observation.
Used by ATC	Yes, for of Jet stream
Used by pilots	Yes , for pre-flight briefing information

<b>GEO use</b> (global, USA, EU, other)	Globally
<b>Probability</b>	N/A
<b>Other information</b>	SIGWX charts issued in the same time and cover the same period as Upper wind and temperature charts. SIGWX forecasts shall be issued in binary code form using the BUFR code form prescribed by WMO.

### TROPICAL CYCLONE ADVISORY INFORMATION

MET product required by ICAO Annex 3	TROPICAL CYCLONE ADVISORY INFORMATION
<b>Description</b>	The advisory information on tropical cyclones shall be issued for tropical cyclones when the maximum of the 10-minute mean surface wind speed is expected to reach or exceed 63 km/h (34 kt) during the period covered by the advisory.
<b>Type</b> (forecast (F), current weather(C), regular (R) and irregular (I-R))	F (R)
<b>Working system/ method and/or source</b>	TROPICAL CYCLONE ADVISORY CENTRES (TCAC) <sup>8</sup>
<b>Timeframe/Validity</b>	The advisory information on tropical cyclones shall be issued for tropical cyclones when the maximum of the 10-minute mean surface wind speed is expected to reach or exceed 63 km/h (34 kt) during the period covered by the advisory.
<b>Update rate</b>	When and where applicable.
<b>Used by ATC</b>	As agreed b/n meteorological offices and ATS. For operational uses SIGMET for tropical cyclone

Used by pilots	SIGMET for tropical cyclone available as a part of pre-flight planning information.
GEO use (global, USA, EU, other)	Locally, depend of geographical features on airport and orography
Probability	N/A
Other information	In SIGWX charts position of tropical cyclone is marked by special sign. Usually it may see it in Atlantic ocean SW direction close to costal of Spain moving to North direction. There is unique procedure and special message related to this event, despite of reason that tropical cyclone is not typical for climate.

## VOLCANIC ASH ADVISORY INFORMATION

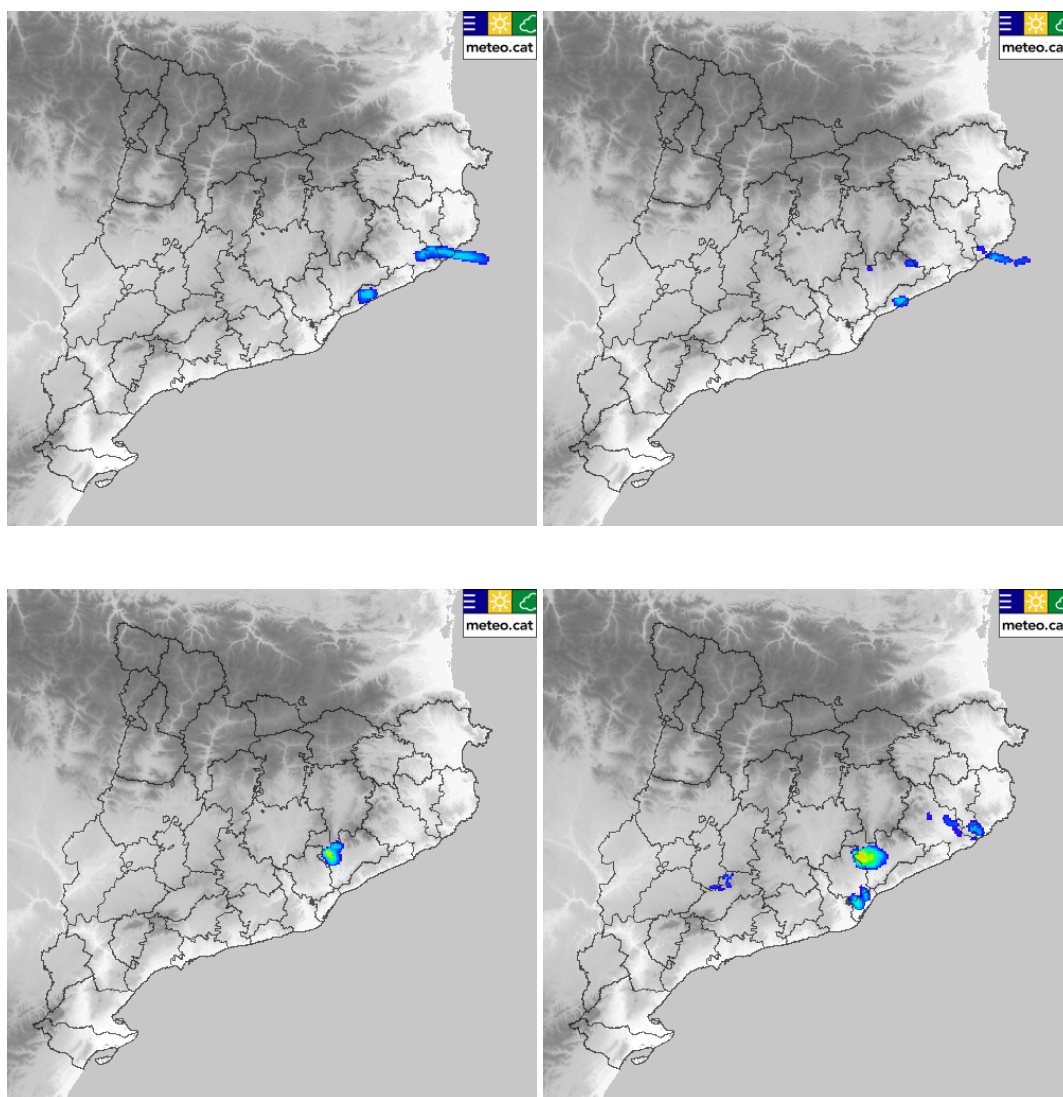
MET product required by ICAO Annex 3	VOLCANIC ASH ADVISORY INFORMATION
Description	The advisory information on volcanic ash issued in abbreviated plain language, using approved ICAO abbreviations and numerical values of self-explanatory nature. The information required to be sent by State volcano observatories to their associated ACCs, MWO and VAAC.
Type (forecast (F), current weather(C), regular (R) and irregular (I-R))	F (R)
Working system/ method and/or source	<b>VOLCANIC ASH ADVISORY CENTRES (VAAC)</b> Issued recommendation information in plain language and in format of charts regarding volcanic ash dispersion in atmosphere. As a result of this information in FIRs where volcanic ash is presence, meteorological offices issue SIGMET for volcanic ash
Timeframe/Validity	The format of charts regarding volcanic ash dispersion in atmosphere issued every sixth hours.
Update rate	When and where applicable.
Used by ATC	Yes, there are coordinate actions b/n meteorological services and ATS regarding en-route planning and departures and landing of aircraft in affected areas and aerodromes.

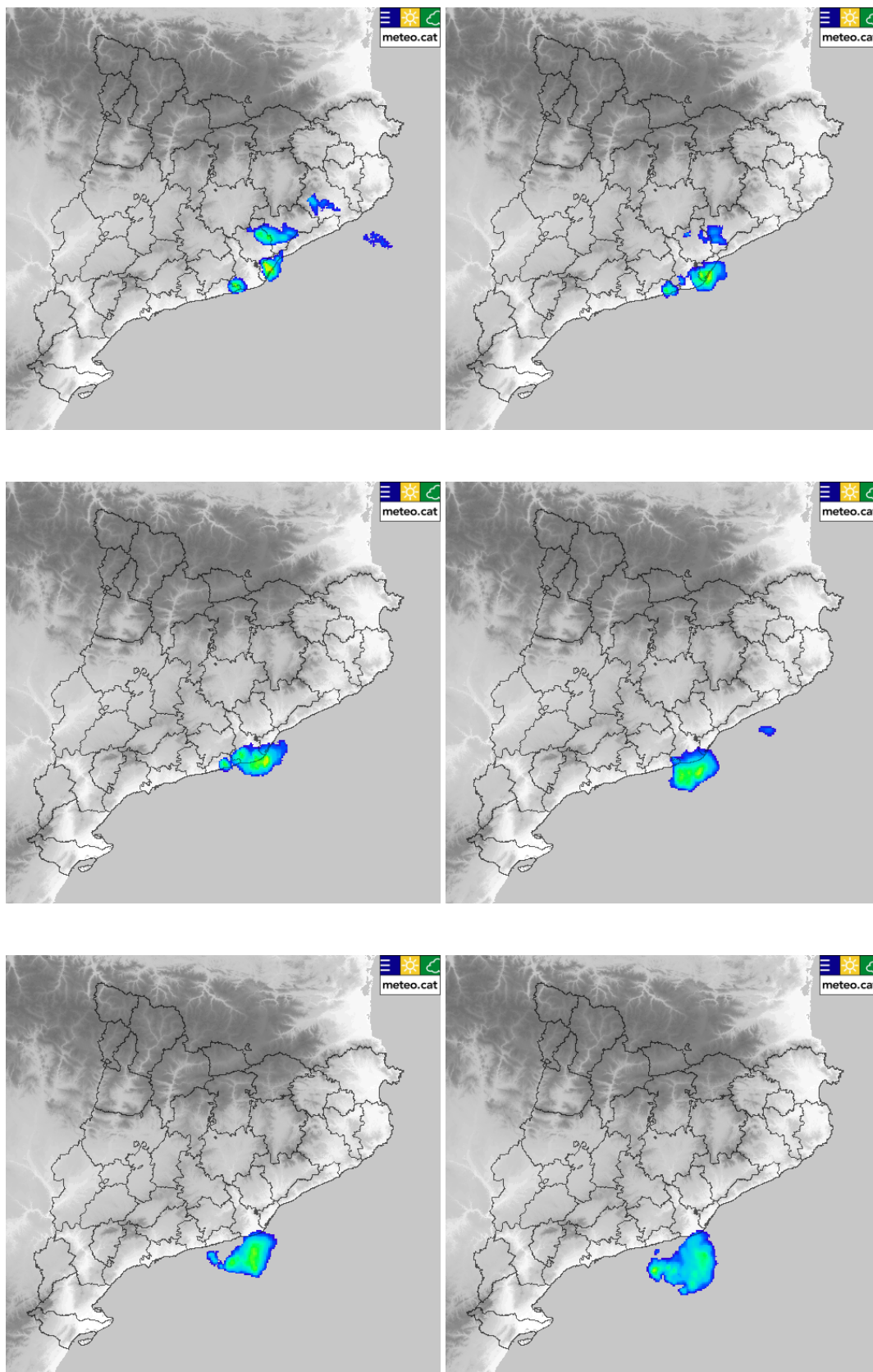
Used by pilots	Yes, by issued SIGMETs and additional charts due to volcanic as presence in atmosphere.
GEO use (global, USA, EU, other)	Locally, depend of presence of volcanic ash resulting of volcanic eruption.
Probability	N/A
Other information	N/A



## B Predicció meteorològica del model WRF i observació del radar meteorològic en aproximació final a l'aeroport de Barcelona pel 07/10/2015

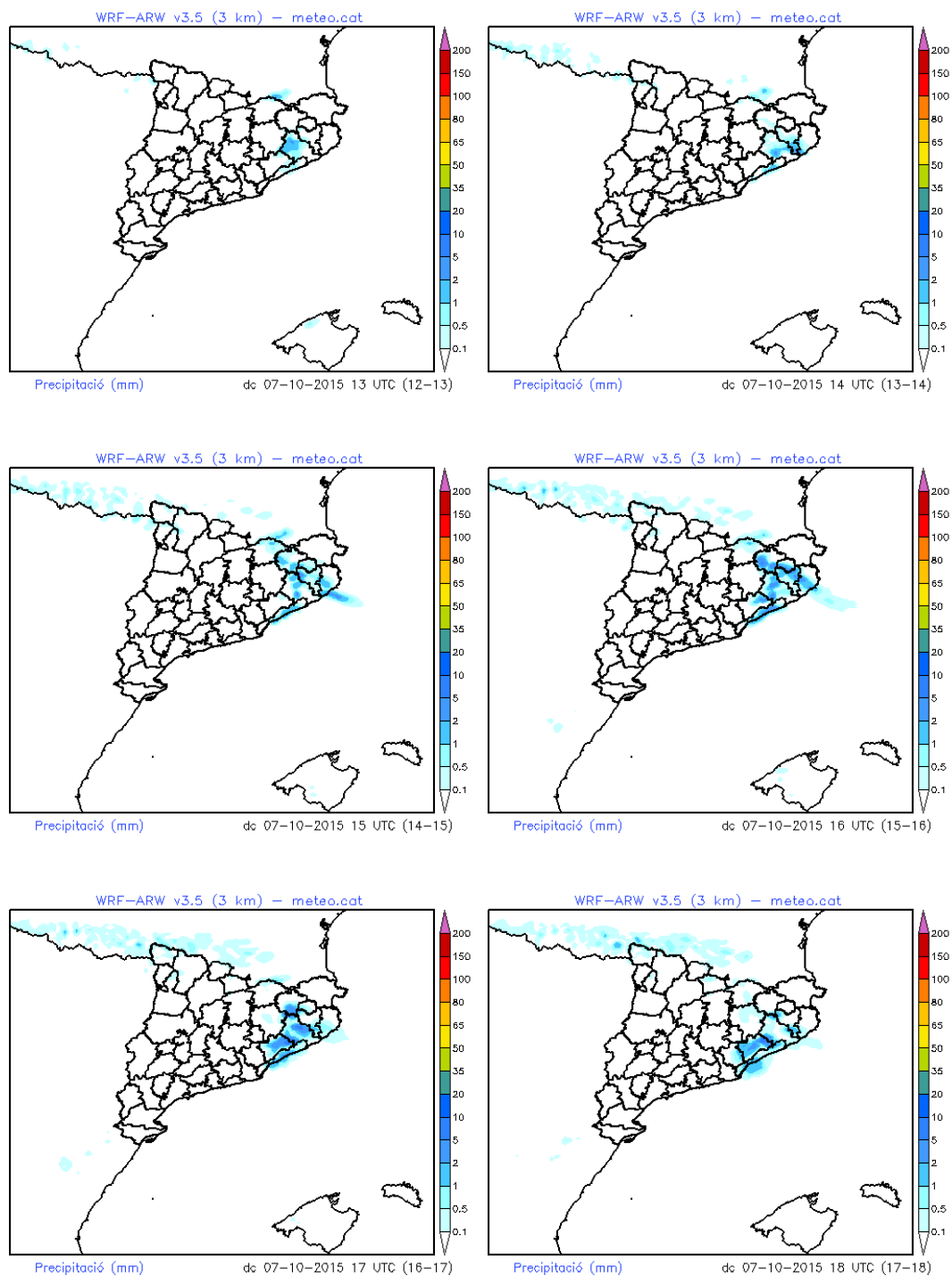
### B.1 Imatge de precipitació acumulada detectada pel radar meteorològic pel 07-10-2015

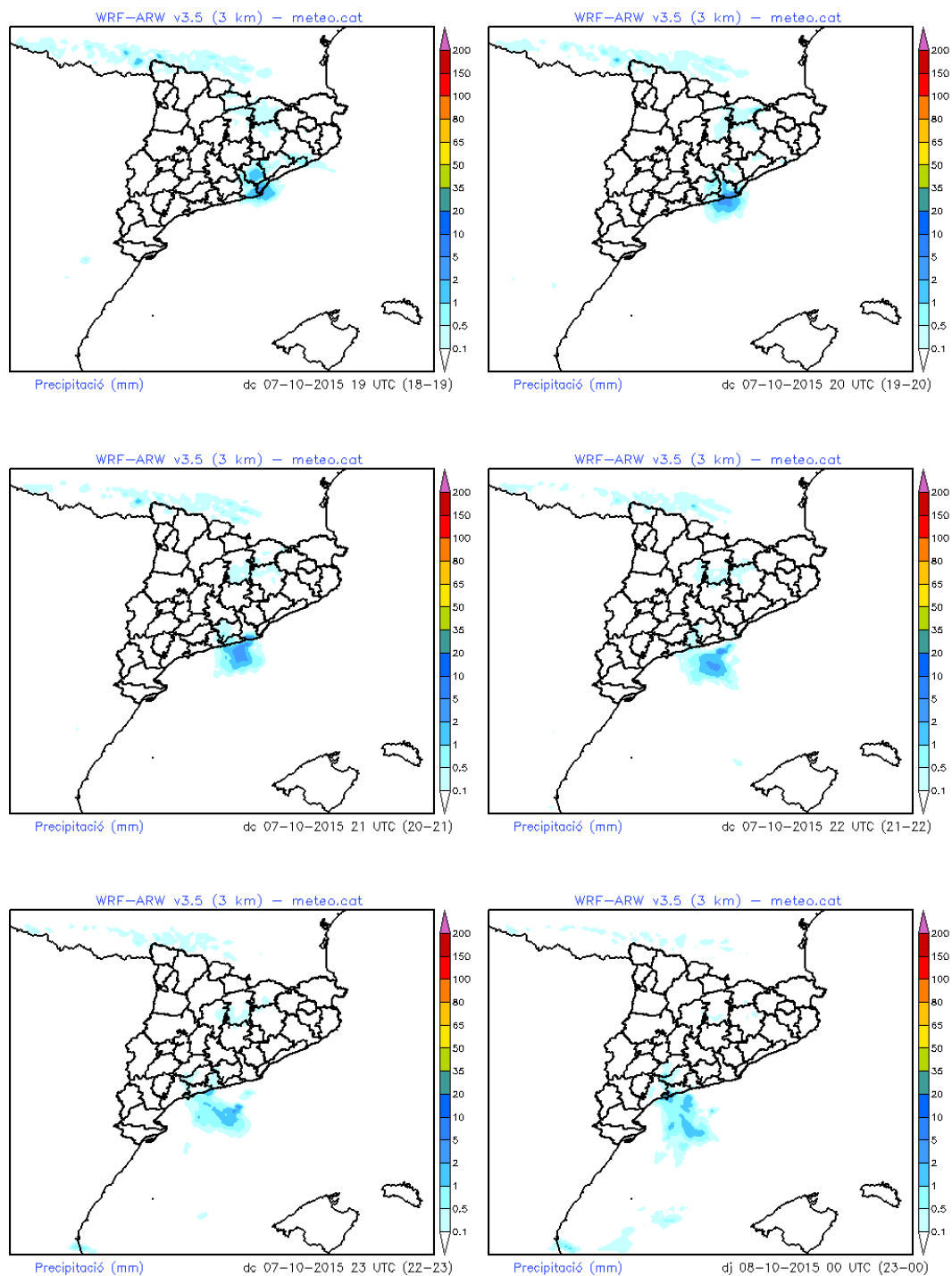




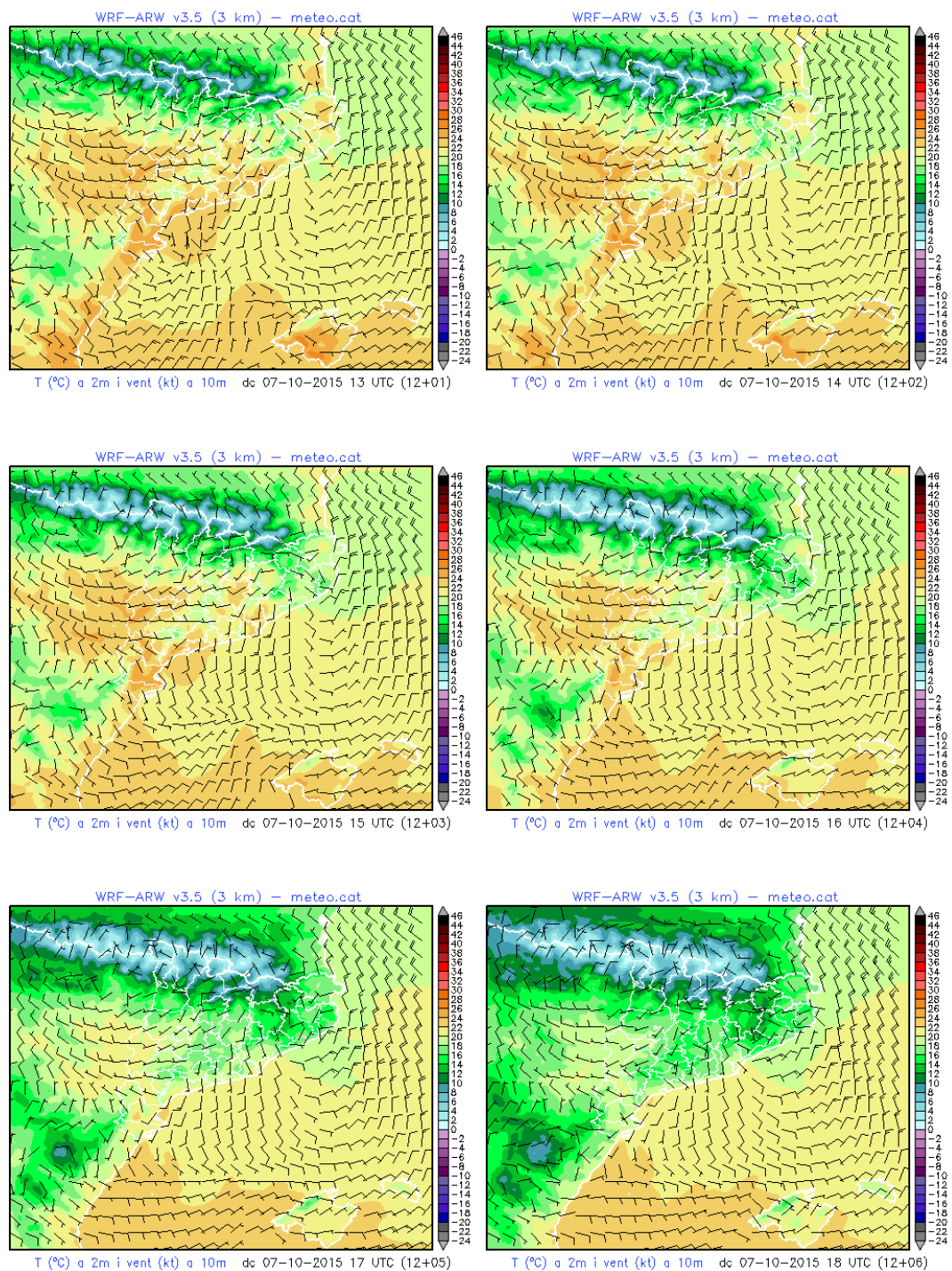
## B.2 Simulació meteorològica del WRF-ARW pel 07-10-2015

### B.2.1 Precipitació acumulada horària

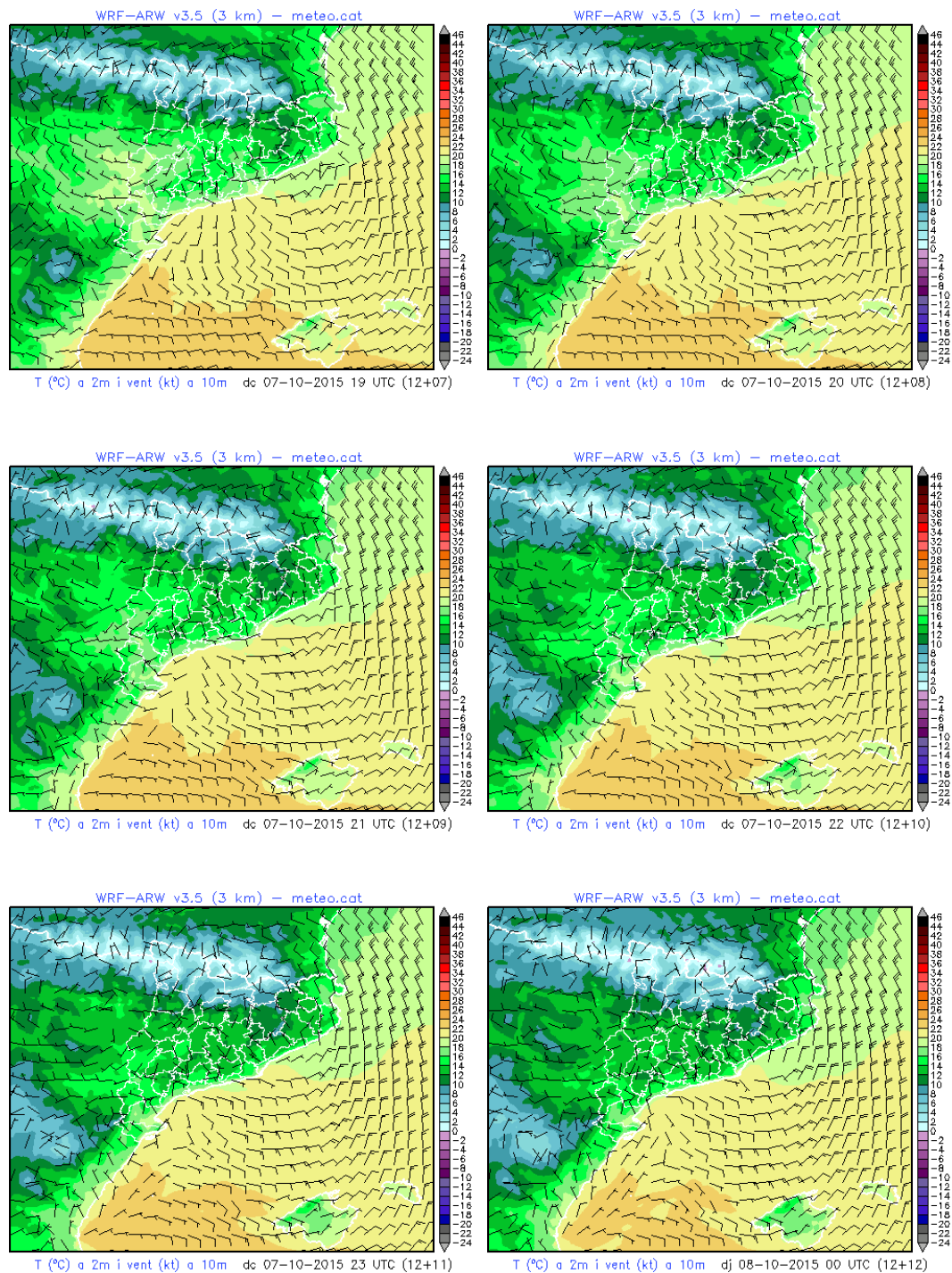




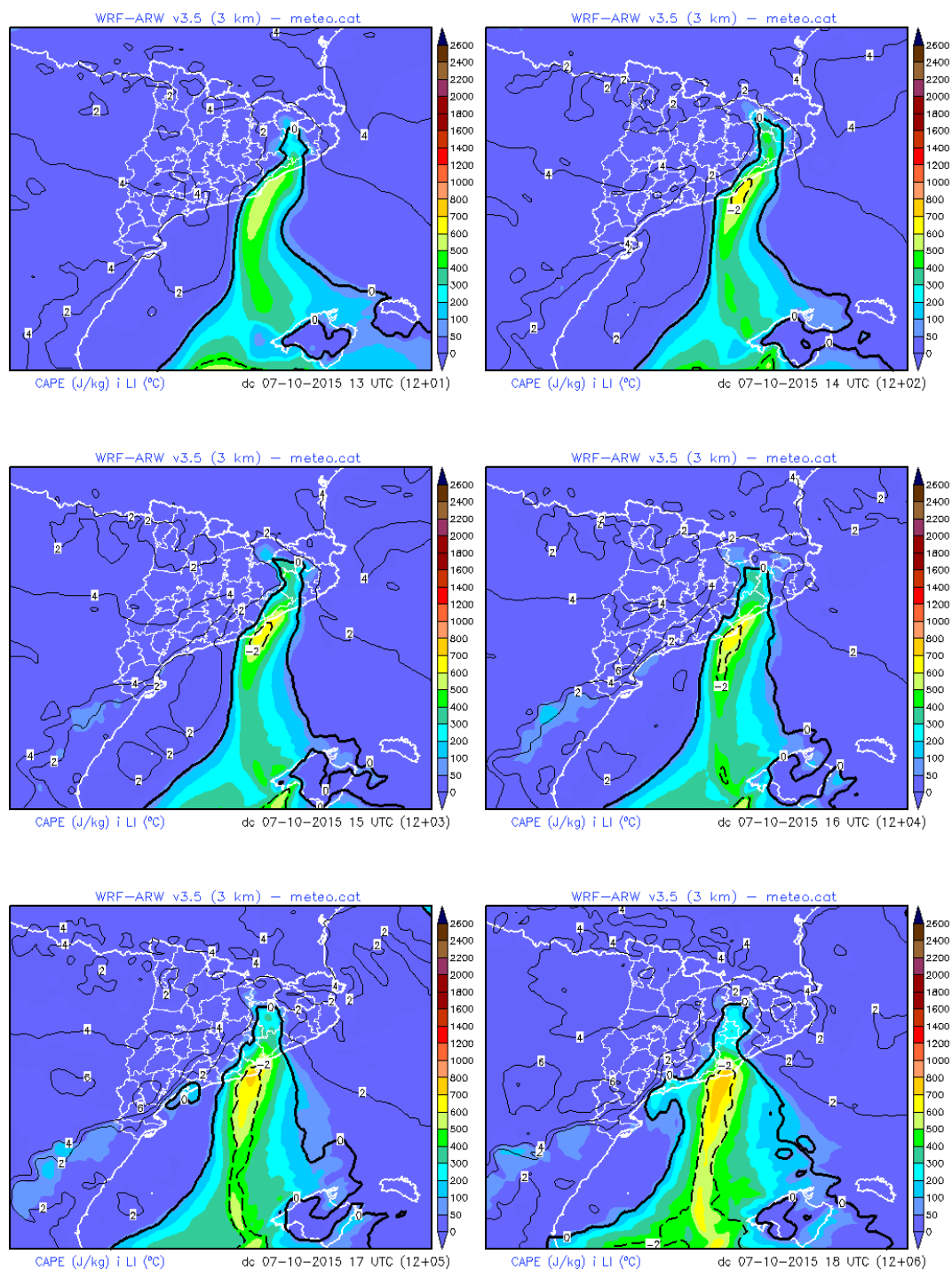
## B.2.2 Temperatura / Vent superfície

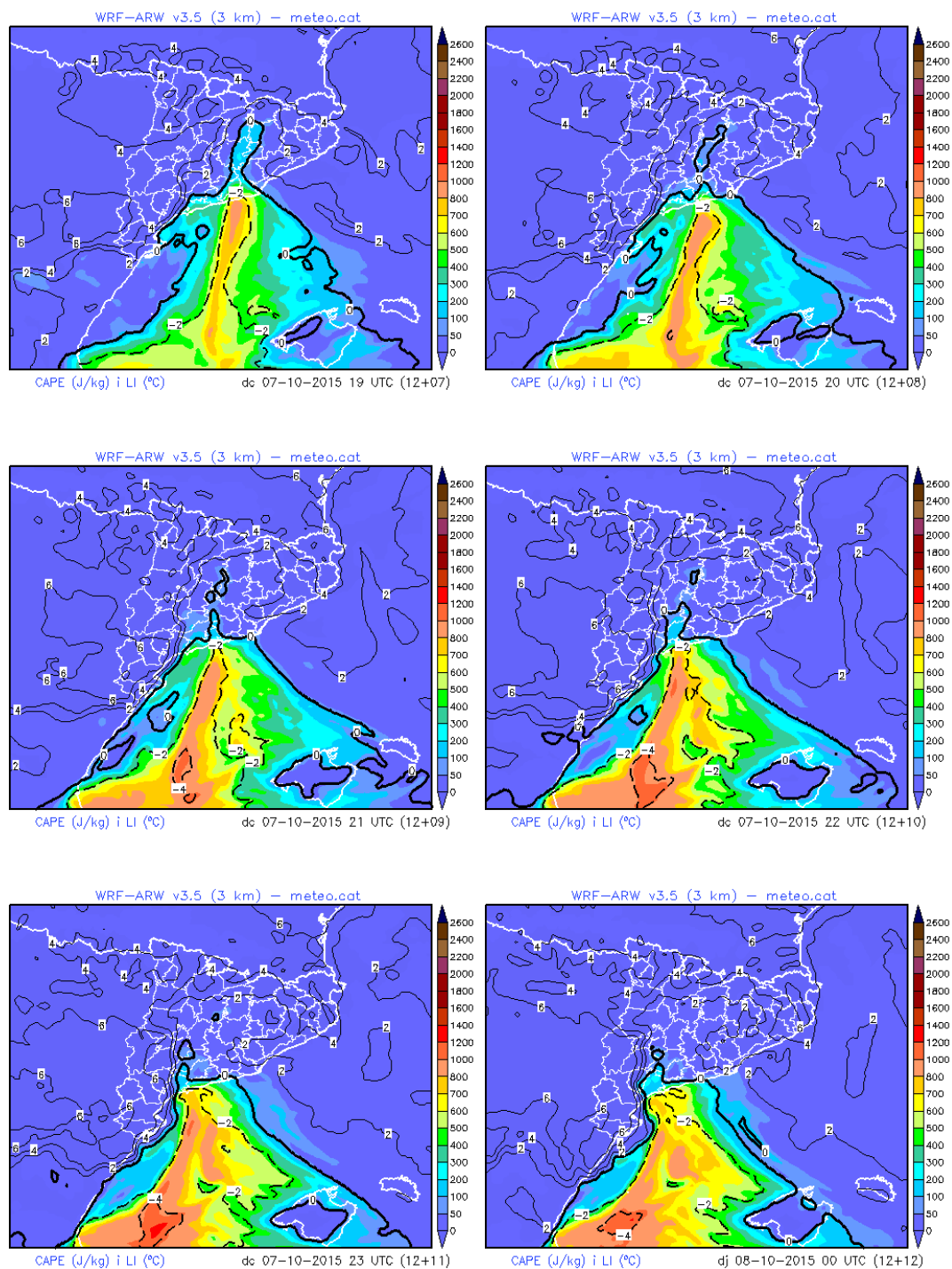






### B.2.3 Índex CAPE/LI









Autor del treball:

**Ignasi Porras Alegre**

## Resum

En el present treball es fa un anàlisi nacional i internacional dels serveis meteorològics en l'aviació. Es presenten quins són els organismes que regeixen aquest servei, així com els productes que es faciliten als usuaris finals per a una navegació aeronàutica eficient i segura. A continuació, es fa un estudi general de quines són les variables meteorològiques més determinants a l'hora de gestionar tot el que engloba una operació aeronàutica. També s'estudia quines són les variables meteorològiques més adverses per a l'aviació i que poden causar incidents i accidents. Per finalitzar, es presenta un cas d'estudi sobre les conseqüències d'una bona predicció meteorològica realitzada amb el model de predicció numèrica del temps, Weather Research and Forecast model (WRF), a la fase d'aproximació final de l'aeroport de Barcelona.

## Resumen

En el presente trabajo se hace un análisis nacional e internacional de los servicios meteorológicos en la aviación. Se presentan cuáles son los organismos que rigen este servicio así como los productos que se facilitan a los usuarios finales para una navegación eficiente y segura. A continuación, se hace un estudio general de cuáles son las variables meteorológicas más determinantes a la hora de gestionar todo lo que engloba una operación. También se estudia cuáles son las variables meteorológicas más adversas para la aviación y que pueden causar incidentes y accidentes. Para finalizar, se presenta un caso de estudio sobre las consecuencias de una buena predicción meteorológica realizada con el modelo de predicción numérica del tiempo, Weather Research and Forecast model (WRF), en fase de aproximación final del aeropuerto de Barcelona.

## Overview

In this paper a national and international analysis of meteorological services in aviation is made. It is presented which agencies manage this services and which are the delivered meteorological products for the end users in order to gain in safe and efficient. Besides, an overview of which meteorological fields are take in consideration for a secure and efficient flight operation as well as which are the most severe meteorological variables in aviation that can cause incidents and accidents. Finally, an analysis of the weather forecast over the Barcelona's airport final approach performed with the Weather Research and Forecast model (WRF) is done in order to analyse the importance of an accurate forecast.

